

# UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



## PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

### OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE HUMEDAD ATMOSFÉRICA EMPLEANDO CÉLULAS DE EFECTO PELTIER

**AUTOR:** Andrés Sacristán Gómez

**DIRECTOR:** Guillermo Robles Muñoz

**Título:** Obtención de agua a partir de humedad atmosférica empleando células de efecto Peltier.

**Autor:** Andrés Sacristán Gómez

**Director:** Guillermo Robles Muñoz

## EL TRIBUNAL

**Presidente:** M<sup>a</sup> Ángeles Moreno López de Saa

**Secretario:** Miriam Bueno Lorenzo

**Vocal:** Ramón Barber Castaño

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 6 de Julio de 2011 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de 8 ( Notable )

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

# AGRADECIMIENTOS

Cada persona en su vida, es libre para decidir qué hacer, aunque muchas veces las cosas nos vienen impuestas. En mi caso me han venido impuestos mis padres, he tenido esa suerte. Sin ellos habría sido imposible empezar la carrera, hacerla o terminarla. Ellos han sido el pilar de todo este trabajo, así como del trabajo que llevo haciendo durante estos años de estudio. Necesitaría 3 vidas para agradecerles su esfuerzo, comprensión, apoyo, fuerza...Solo puedo decir que gracias a ellos soy quien soy. Gracias a los dos.

Otra gran parte de este trabajo se lo lleva mi novia, Laura, la que me ha apoyado y entendido tantas y tantas veces animándome a seguir luchando y estando ahí, gracias a ti también por todo tu apoyo.

Gracias a toda mi familia, que cada examen, cada cuatrimestre, era un triunfo. Preguntándome si habían salido bien las cosas, llamándome, apoyándome, mi abuela, mis tíos, mis primos, tanta gente que ha participado...

Gracias a mis amigos, que han entendido el esfuerzo que supone esta carrera y me han apoyado de la misma forma.

En la carrera ha habido mucha gente con la que he hecho mucha amistad. Gente con la que he hecho prácticas, compañeros de clase, compañeros de estudio...

A mis compañeros, Alberto Villarino, Ángel Núñez, Adri, Álvaro, Rubén, Miguel de Ciempozuelos, Silvia...

A mis profesores, Guillermo Robles, Nuria, Juanvi, Carlos Valdivia, Julián...

# RESUMEN

En este proyecto se ha realizado un estudio para tratar de obtener goteo de agua a partir de la condensación de vapor atmosférico. Para conseguir esa condensación se ha empleado una célula de efecto Peltier. Esta célula consta de dos superficies planas de pequeña dimensión, por las que se ha hecho circular una corriente que es la que ha puesto una de sus caras fría y la otra caliente.

Mediante un circuito de control realizado con el programa Labview se ha intentado mantener la cara fría en la temperatura necesaria para llegar al punto de rocío y que así se produzca la condensación de vapor de agua.

El punto de rocío depende de dos variables termodinámicas que son temperatura y humedad relativa por eso se han utilizado dos sensores para captar esas dos variables: sensor de temperatura y sensor de humedad relativa. Los datos dados por los sensores se han introducido en un ordenador por medio de una tarjeta de adquisición de datos conectada al ordenador mediante un cable USB.

Con el programa Labview se ha tratado la información y mediante el diseño de un regulador proporcional se ha intentado mantener, a la salida de la tarjeta de adquisición, la tensión necesaria para poner la cara fría de la célula en la temperatura del punto de rocío. Esto se produce cuando el aire circulante en contacto con la cara fría de la célula se enfría y así el agua que contiene ese aire se condensa hasta producir goteo.

La salida de tensión de la tarjeta de adquisición como era demasiado pequeña se ha tenido que amplificar mediante un circuito amplificador diseñado para tal caso para poder alimentar la célula Peltier, ya que ésta demanda más corriente de la que sale por la tarjeta de adquisición de datos.

# ÍNDICE GENERAL

<b>1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
1.1.- Problemática Global del agua.....	10
1.2.- Motivaciones del Proyecto.....	10
1.3.- Objetivos del Proyecto Técnico.....	10
<b>2.- DISPOSITIVOS TERMOELÉCTRICOS.....</b>	<b>11</b>
2.1.- La Termoelectricidad.....	11
2.2.- Efectos presentes en la célula de efecto Peltier.....	11
2.2.1.- Efecto Seebeck.....	11
2.2.2.- Efecto Peltier.....	12
2.2.3.- Efecto Joule.....	12
2.3.- La célula de efecto Peltier.....	13
2.3.1.- Ventajas e inconvenientes de la célula de efecto Peltier.....	14
2.3.1.1.- Ventajas.....	14
2.3.1.2.- Inconvenientes.....	15
2.4.- Conceptos termodinámicos.....	15
2.4.1.- Humedad en la atmósfera: punto de rocío.....	15
2.4.2.- Temperatura del punto de rocío.....	15
2.4.3.- Humedad Relativa.....	16
2.4.4.- Climas en los que trabajará la célula Peltier.....	16
2.5.- Montaje del Módulo Condensador de agua: célula Peltier, disipador y ventilador.....	17
2.5.1.- Elección de los componentes.....	17
2.5.2.- Elección de la célula de efecto Peltier.....	17
2.5.3.- Elección del disipador + ventilador.....	18
2.5.4.- Elección del adhesivo.....	19
2.6.- Punto óptimo de enfriamiento de la célula.....	19
2.7.- Objetivos.....	19
<b>3.- ETAPAS DEL PROYECTO.....</b>	<b>19</b>
3.1.- Diagrama de Bloques.....	19
3.2.- Adquisición de datos.....	20
3.3.- Operaciones de control con Labview.....	20
3.4.- Etapa amplificadora.....	20
3.5.- Módulo de condensación y goteo controlado.....	20

<b>4.- DESARROLLO DEL PROYECTO.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1- ADQUISICIÓN DE DATOS.....</b>	<b>20</b>
4.1.1- Sensor de Temperatura.....	20
4.1.1A- Conexionado de los sensores de Temperatura.....	21
4.1.2- Sensor de Humedad Relativa.....	22
4.1.3- Tarjeta de adquisición de datos USB 1208LS.....	23
4.1.3.1- Datos de salida de la tarjeta de adquisición de datos USB 1208LS.....	24
4.1.4- Esquema de conexionado entre los sensores, la tarjeta de adquisición, y el ordenador.....	24
4.1.5.- Circuito de alimentación de los sensores.....	25
<b>4.2.- DISEÑO DEL CONTROLADOR.....</b>	<b>26</b>
4.2.1.- Regulación Automática: Teoría de Control.....	26
4.2.2.- Conceptos sobre Teoría clásica de control: control en lazo cerrado.....	27
4.2.2.1- Estabilidad.....	28
4.2.3- Modelado del sistema.....	28
4.2.3.1.- Cálculo del error en estado estacionario.....	30
4.2.4.- Diseño del regulador.....	32
<b>4.3.- PROGRAMA DISEÑADO CON LABVIEW.....</b>	<b>34</b>
4.3.1.- Diagrama de Bloques.....	34
4.3.2.- Instrumentos Virtuales utilizados en la aplicación.....	34
4.3.2A.- Instrumento Virtual para la Adquisición de datos.....	35
4.3.2B.- Instrumento Virtual para la Salida de datos.....	37
4.3.3- Tensiones de entrada a Labview.....	39
4.3.3A.-Sensor LM35.....	39
4.3.3B.- Sensor HIH4000.....	40
4.3.4.- Temperatura del Punto de rocío, $T_d$ .....	41
4.3.5- Bloque Regulador.....	43
4.3.6- Diagrama de bloques completo.....	43
4.3.7- Panel de Control Completo.....	44
<b>4.4.- DISEÑO DEL CIRCUITO AMPLIFICADOR.....</b>	<b>45</b>
4.4.1- Etapa amplificadora.....	45
4.4.2- Parámetros para el diseño del circuito amplificador.....	46
4.4.2.1- Diseño del par Darlington.....	47
4.4.2.2- Elección de los componentes de alta potencia.....	48
4.4.2.2.1.- Elementos de refrigeración para los transistores de alta potencia.....	48
4.4.2.2.1A.- Factor de ajuste del 2N3716.....	48
4.4.2.3.1B.- Factor de ajuste del 2N3055.....	49

4.4.2.3- Amplificador operacional como seguidor de tensión....	50
4.4.2.4- Elección y diseño del resto de componentes.....	50
4.4.3- Circuito amplificador completo.....	51
4.4.4- Funcionamiento del circuito.....	52
<b>5.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>53</b>
5.1.- Conclusiones.....	53
5.2.- Trabajos futuros.....	54
<b>6.- DOCUMENTACIÓN Y BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>56</b>
6.1.- Proyectos.....	56
6.2.- Libros.....	56
6.3.- Páginas o documentos electrónicos en la web.....	56
<b>7.- ANEXOS.....</b>	<b>57</b>
• ANEXO A: Hoja de características del sensor de Temperatura LM35..	57
• ANEXO B: Hoja de características del sensor de Humedad relativa HIH4000.....	62
• ANEXO C: Hoja de características de la tarjeta de adquisición de datos USB 1208LS.....	65
• ANEXO D: Hoja de características del Amplificador de Potencia 2N3055.....	67
• ANEXO E: Hoja de características del Amplificador de Potencia 2N3716 .....	70
• ANEXO F: Hoja de características del Amplificador Operacional OP491 .....	73
• ANEXO G: Especificaciones Técnicas de la célula Peltier PF071-14-15 .....	76
• ANEXO H: Hoja de características del adhesivo epóxido.....	77

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de termopar (efecto Seebeck).....	11
Figura 2: Esquema del efecto Peltier.....	12
Figura 3: Célula de efecto Peltier.....	13
Figura 4: Esquema de las partes de la célula de efecto Peltier.....	14
Figura 5: Disposición de los semiconductores en la célula Peltier.....	14
Figura 6: Especificaciones técnicas del disipador Foxconn SS7.....	19
Figura 7: Tarjeta de adquisición USB 1208LS.....	23
Figura 8: Conexión entre los sensores, la tarjeta de adquisición y el PC.....	25
Figura 9: Circuito de alimentación de los sensores.....	26
Figura 10: Esquema general de un proceso regulado.....	27
Figura 11: Diagrama de bloques sin el error.....	30
Figura 12: Diagrama de bloques con el error.....	32
Figura 13: Diagrama de bloques con los valores calculados.....	34
Figura 14: Adquisición de Datos: Diagrama de Bloques.....	35
Figura 15: Adquisición de Datos: Panel Frontal.....	36
Figura 16: Salida de Datos: Diagrama de Bloques.....	37
Figura 17: Salida de Datos: Panel Frontal.....	38
Figura 18: Diagrama de bloques V-T <sup>a</sup> del LM35.....	40
Figura 19: Diagrama de bloques V-T <sup>a</sup> del HIH 4000.....	41
Figura 20: Diagrama de bloques de la ecuación del punto de rocío.....	42
Figura 21: Diagrama de bloques de las operaciones del Punto de rocío.....	42
Figura 22: Bloque regulador.....	43
Figura 23: Diagrama de bloques completo.....	44
Figura 24: Panel de control completo.....	45
Figura 25: Curva ajustada de (T <sub>c</sub> -T <sub>f</sub> ) frente a I.....	46
Figura 26: Par Darlington.....	47
Figura 27: Seguidor de tensión.....	50
Figura 28: Etapa amplificadora completa.....	52



# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos de temperatura y humedad relativa del laboratorio.....	16
Tabla 2: Índice Humidex.....	17
Tabla 3: Características de la célula Peltier modelo Supercool PF-071-14-15.....	18
Tabla 4: Diferencia de temperatura entre las caras de la célula Peltier en función de la corriente aplicada.....	29

# 1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1.- Problemática Global del agua

Actualmente hay una serie de problemas globales con el agua como es la sequía, la contaminación, la escasez de agua... Tan solo el 1% del agua total del planeta es para consumo humano. Cuando se habla del agua total para consumo humano no solo se hace referencia al agua para beber, también se trata del agua para regar, para industria, agua utilizada para piscinas, fuentes...

Los ingenieros deben intentar buscar soluciones obteniendo agua a partir de otros métodos. Con la ingeniería y el conocimiento se puede aprovechar los recursos del planeta y se pueden diseñar nuevos métodos o sistemas para la obtención de agua.

## 1.2.- Motivaciones del Proyecto

Las motivaciones de este Proyecto Fin de Carrera son varias, ya que las acciones que se desean nunca se hacen por un solo motivo. En este caso son:

- El diseño de un sistema que produzca agua a partir del vapor atmosférico.
- La utilización de la Ingeniería y el conocimiento para la solución de problemas ecológicos y para el aprovechamiento de los recursos que tiene el planeta.
- El intento de diseño de un invento que funcione y sea relevante en la sociedad.

## 1.3.- Objetivos del Proyecto Técnico

- 1.- Realización de un estudio con células de efecto Peltier.
- 2.- Diseño de un sistema de control capaz de controlar la temperatura de la cara fría de una célula Peltier hasta el punto de rocío.
- 3.- Realización de un sistema de adquisición de datos con un ordenador.
- 4.- Programación de un circuito de acondicionamiento de las señales adquiridas de temperatura y humedad relativa mediante el programa Labview.
- 5.- Diseño de un circuito amplificador.

## 2.- DISPOSITIVOS TERMOELÉCTRICOS

### 2.1.- La Termoelectricidad

La Termoelectricidad es la rama de la Termodinámica donde se estudian los fenómenos en los que están presentes el calor y la electricidad. También es el fenómeno físico por el cual se convierten diferencias de temperatura en diferencias de tensión y viceversa. La conversión de diferencias de tensión a diferencias de temperatura se puede realizar de tres formas distintas:

- Mediante el *efecto Peltier-Seebeck*.
- Por *emisión termoiónica*.
- A través de *magnetohidrodinámica*.

En este proyecto la conversión de energía eléctrica en energía térmica se realizará mediante el efecto Peltier.

### 2.2.- Efectos presentes en la célula de efecto Peltier

La conversión de energía por efecto termoelectrico (en el sentido  $\rightarrow$  calor electricidad o electricidad  $\rightarrow$  calor) se basa en los efectos Seebeck y Peltier, aunque en la célula aparecen tres efectos:

- Efecto Seebeck.
- Efecto Peltier.
- Efecto Joule.

#### 2.2.1.- Efecto Seebeck

El primer efecto termoelectrico fue descubierto por el físico Thomas Johann Seebeck en 1821. El efecto Seebeck es la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad. La aplicación del efecto Seebeck es la medida de temperatura mediante termopares. Un termopar es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje, que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado “punto caliente” y el otro denominado “punto frío” o unión fría o de referencia, ver Figura 1.

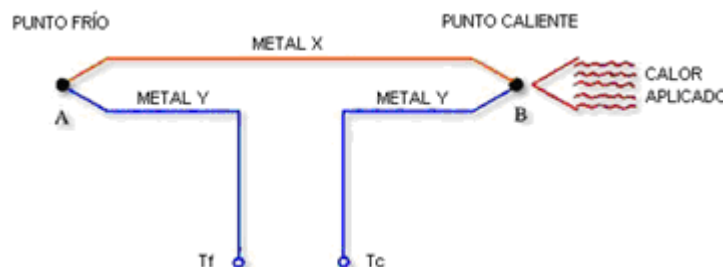


Figura 1: Esquema de termopar (efecto Seebeck).

### 2.2.2.- Efecto Peltier

En 1834, el físico francés Jean-Charles Peltier descubrió el segundo efecto termoeléctrico: en la unión de dos metales diferentes sometidos a una corriente eléctrica aparece una diferencia de temperaturas. Jean Peltier descubrió el efecto que se considera opuesto al efecto Seebeck, al que también se bautizó con el nombre de su apellido: el efecto Peltier(ver figura).

La dirección de la transferencia de calor es controlada por la polaridad de la corriente. Al invertir la polaridad se cambia la dirección de la transferencia y, como consecuencia, la unión donde se desprendía calor lo absorberá y donde se absorbía lo desprenderá.

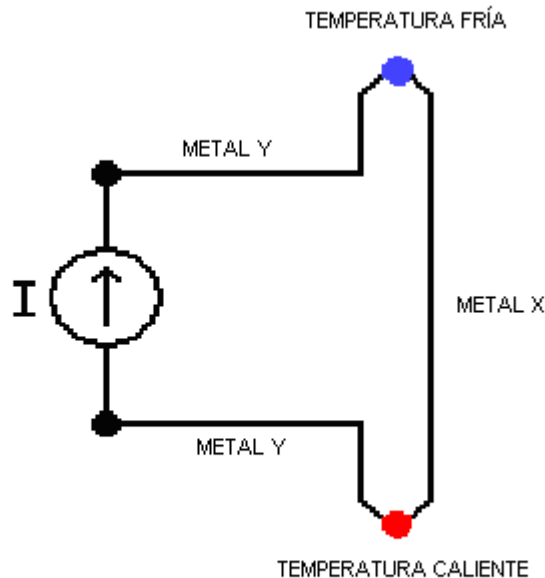


Figura 2: Esquema del efecto Peltier.

### 2.2.3.- Efecto Joule

El efecto Joule descubierto por James Prescott Joule en 1852 afirma que la cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica depende del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que esta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente.

Matemáticamente queda expresado como:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

Q = Energía calorífica producida por la corriente.

I = Intensidad de la corriente que circula por la célula.

R = Resistencia eléctrica del conductor.

t = Tiempo de sometimiento.

Y la potencia disipada por el efecto Joule es:

$$P = R * I^2 = \frac{V^2}{R} \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

V = diferencia de potencial entre los extremos de la célula.

R= resistencia eléctrica

I= corriente eléctrica

### 2.3.- La célula de efecto Peltier

La célula de efecto Peltier es un dispositivo termoeléctrico semiconductor en el cual, al hacer circular una corriente por él, aparece una diferencia de temperatura entre sus caras, es decir, una de sus caras se calienta y la otra se enfría, ver figura 3.



Figura 3: Célula de efecto Peltier.

Se puede usar la célula para enfriar o para calentar, aunque para calentar hay otras alternativas más eficientes. En este proyecto se ha usado para enfriar.

Como puede verse en la siguiente figura, la célula está formada por los cables de alimentación por donde le llega corriente a la célula. Las células de efecto Peltier funcionan con corriente continua. También consta de dos superficies fabricadas con material cerámico aislante, las cuales se pondrán mas frías o mas calientes en función de la polaridad de la corriente y de la cantidad de amperios que se haga circular por la célula. Por último la célula está fabricada en su parte interior con un material conductor. Este material esta compuesto por dos metales diferentes o semiconductores tipo P y tipo N que están conectados entre sí por medio de soldaduras, ver figura 4.

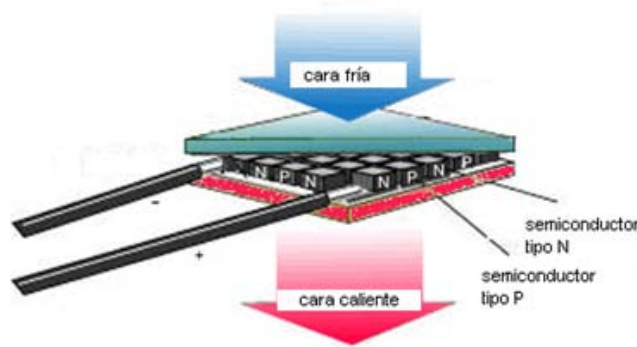


Figura 4: Esquema de las partes de la célula de efecto Peltier.

Un semiconductor es una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de la temperatura del ambiente en la que se encuentre. Los semiconductores de las células están fabricados con Teluro y Bismuto generalmente. Las células están construidas por parejas de semiconductores, uno tipo P y otro tipo N, que están organizados mediante su conexión eléctrica en serie y su conexión térmica en paralelo encerrado todo esto entre dos placas cerámicas paralelas, ver figura 5.



Figura 5: Disposición de los semiconductores en la célula Peltier.

Para conseguir que la célula tenga un funcionamiento adecuado y no haya transferencia de calor entre sus caras se ha colocado un disipador de calor que elimine el exceso de calor de la cara caliente de la célula con un ventilador para que haya circulación del aire. Con esto se consigue que la temperatura de la cara fría se mantenga lo más baja posible y así no habrá problemas en llevar la cara fría de la célula a la temperatura del punto de rocío.

### 2.3.1.- Ventajas e inconvenientes de la célula de efecto Peltier

#### 2.3.1.1.- Ventajas

- Tienen un funcionamiento sencillo.
- Su coste no es elevado.
- No emiten contaminantes.
- No requieren mantenimiento.
- Son potentes en cuanto al enfriamiento.

- Funcionan en diversos entornos.
- Es un dispositivo de refrigeración que no necesita ni gas ni partes móviles como otros.

### **2.3.1.2.- Inconvenientes**

- Tienen un consumo en amperios elevado.
- La cara caliente necesita disipación para funcionar correctamente.
- Al tener dimensiones reducidas da una potencia frigorífica de pocos vatios.
- Baja eficiencia.

## **2.4.- Conceptos termodinámicos**

### **2.4.1.- Humedad en la atmósfera: punto de rocío**

El aire en la atmósfera se considera como una mezcla de dos componentes: aire seco y agua. La capacidad de la atmósfera para recibir vapor de agua se relaciona con el concepto de humedad absoluta, que corresponde a la cantidad de agua presente en el aire por unidad de masa de aire seco, y la humedad relativa que es la relación entre la humedad absoluta y la cantidad máxima de agua que admite el aire por unidad de volumen.

Cuando la humedad alcanza el valor del 100%, se dice que el aire está saturado, y el exceso de vapor se condensa para convertirse en niebla o nubes. El fenómeno del rocío en las mañanas de invierno se debe a que la humedad relativa del aire ha alcanzado el 100% y el aire no admite más agua.

Por lo tanto la humedad en un recinto puede aumentar:

- Por disminución de la temperatura ambiental.
- Por aumento de la cantidad de agua en el ambiente.

El primero de los fenómenos se relaciona con el concepto de temperatura de rocío. Si se mantiene la cantidad de agua en el ambiente constante y se disminuye la temperatura llega un momento en que se alcanza la saturación, a esta temperatura se le llama temperatura del punto de rocío. Así cualquier objeto que tenga una temperatura menor que el punto de rocío presentará condensación en su superficie.

### **2.4.2.- Temperatura del punto de rocío**

La temperatura del punto de rocío a la cual se pondrá la cara fría de la célula de efecto Peltier depende de dos variables: temperatura y humedad relativa. La ecuación que lo caracteriza es:

$$T_d = T + 35 \log(\phi) \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde:

$T_d$  = Punto de rocío.

$T$  = Temperatura ambiente.

$\Phi$  = Humedad relativa.

### 2.4.3.- Humedad Relativa

La humedad relativa, HR [%], es la proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a la temperatura correspondiente. Indica lo cerca que está el aire de la saturación. Se mide en porcentaje entre 0 y 100, donde el 0% significa aire seco y 100% aire saturado.

### 2.4.4.- Climas en los que trabajará la célula Peltier

Este proyecto ha sido realizado en Leganés (Madrid), en el laboratorio de la Universidad Carlos III en el cual hay poca variación de los datos de temperatura y humedad relativa. La temperatura siempre varía entre 19 y 24 grados centígrados y la humedad relativa siempre se sitúa entre el 30% o 40%. Para estos datos de temperatura y humedad relativa se ha calculado el punto de rocío. En la tabla 1 se muestran los distintos valores posibles del punto de rocío en el laboratorio de proyectos:

temperatura	Humedad	Punto rocío
T	H	$T_d$
19	0,3	0,69924392
19	0,4	5,0720997
20	0,3	1,69924392
20	0,4	6,0720997
21	0,3	2,69924392
21	0,4	7,0720997
22	0,3	3,69924392
22	0,4	8,0720997
23	0,3	4,69924392
23	0,4	9,0720997
24	0,3	5,69924392
24	0,4	10,0720997

Tabla 1: Datos de temperatura y humedad relativa del laboratorio

Todos los demás posibles valores de temperatura y humedad relativa se han incluido en una tabla en el anexo de este proyecto.

Hay ciertos valores atmosféricos que son insoportables para el ser humano y muchas veces son subjetivos, ya que el grado de calor que tiene la persona, no está representado solo por la temperatura. Un ambiente de 27 grados puede significar un ambiente pesado para algunos o agradable para otros.



Hay un parámetro que relaciona la temperatura y la humedad llamado índice humidex o temperatura de bochorno. En la siguiente tabla se puede ver este índice donde aparece la temperatura en grados centígrados a la izquierda y la humedad relativa en tanto por ciento en la parte de arriba.

En la tabla se ve que cuando aumenta la humedad relativa el ambiente se hace agobiante para el ser humano y cuando la humedad relativa disminuye aunque aumente la temperatura es más soportable.

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

Tabla 2: índice Humidex

## 2.5.- Montaje del Módulo Condensador de agua: célula Peltier, disipador y ventilador

### 2.5.1.- Elección de los componentes

La elección de los componentes del módulo construido se ha realizado atendiendo a las necesidades del proyecto y en cuanto a lo que se quería conseguir, teniendo en cuenta las características técnicas de cada componente para poder realizar los ensayos con las fuentes del laboratorio.

### 2.5.2.- Elección de la célula de efecto Peltier

La célula de efecto Peltier se ha elegido en función de la tensión de alimentación y las dimensiones de ésta, sin que tenga un consumo excesivo de

corriente. Al haber células de tamaño más reducido es interesante elegir una que disponga de una superficie mínima para conseguir que su área produzca un goteo mínimo de agua.

Se ha elegido una célula de efecto Peltier de la marca Supercool, modelo PF-071-14-15, ver tabla 3.

Product No.	I <sub>max</sub> (A)	U <sub>max</sub> (V)	P <sub>cmax</sub> (W)	ΔT <sub>max</sub> (°C)	R <sub>AC</sub> (ohm)	(mm)			L	S mm²
						A	B	H		
High temperature modules										
PF-031-10-13	3.9	3.8	8.0	73	0.91	15	15	3.6	200	0.20
PF-071-10-13	3.9	8.8	20.9	73	1.97	20	20	3.6	200	0.20
PF-071-14-15	6	8.8	32.8	73	1.32	30	30	3.9	200	0.35
PF-127-10-13	3.9	15.7	37.4	73	3.47	30	30	3.6	200	0.20
PF-127-10-20	2.6	15.7	24.9	74	5.7	30	30	4.3	200	0.20
PF-127-14-11	8.5	15.7	81.0	71	1.52	40	40	3.8	300	0.50
PF-127-14-15	6	15.7	58.6	73	2.19	40	40	3.9	300	0.35
PF-127-14-25	3.9	15.7	38.1	74	3.42	40	40	4.8	350	0.35
PF-127-14-11-S <sup>1)</sup>	8.5	15.7	77.6	69	1.52	40	40	3.8	300	0.50
PF-127-14-15-S <sup>1)</sup>	6	15.7	56.1	71	2.19	40	40	3.9	300	0.35
PF-127-14-25-S <sup>1)</sup>	3.9	15.7	36.6	72	3.42	40	40	4.8	350	0.35

Tabla 3: Características de la célula Peltier modelo Supercool PF-071-14-15

### 2.5.3.- Elección del disipador + ventilador

En la cara caliente de la célula Peltier se ha colocado un disipador con un ventilador. Esto se ha hecho porque es la única forma de conseguir que la cara fría disminuya lo suficiente para llegar al punto de rocío y se mantenga en él. Sin el disipador y el ventilador sería imposible llegar a una diferencia de temperatura grande entre las caras de la célula porque el calor de la cara caliente se transmitiría a la cara fría y esto haría que nunca se pudiera mantener la cara fría en el punto de rocío. Un disipador funciona como intercambiador de calor. En este caso el calor se lo quita a la célula Peltier y se lo da al aire.

Para elegir el disipador se ha tenido en cuenta que refrigere de forma activa ya que la forma pasiva consiste en aplicar el disipador sin ningún complemento adicional, y la forma activa consiste en elegir un disipador que funcione con un ventilador que mejora la transferencia del flujo de aire. Los ventiladores se utilizan para mejorar la transferencia calor/aire del disipador, al inyectarle aire forzado.

Se ha elegido el disipador de calor con circulación forzada de aire de la marca Foxconn, modelo super socket 7 ( ss7). A continuación se presentan las especificaciones técnicas del Foxconn SS7:

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS FOXCONN SS7:**

- Material: Cu + Al
- Dimensiones: 80 x 80 x 25mm
- Peso: 330g
- Tensión de alimentación: 12Vcc
- Ratio de velocidad: 2450 / 2000rpm
- Ruido: 23.2dBA (at 2000rpm), 27.5dBA (at 2450rpm)
- Vida útil: 40.000h

Figura 6: Especificaciones técnicas del disipador Foxconn SS7

**2.5.4.- Elección del adhesivo**

Para pegar la célula de efecto Peltier con el disipador se ha elegido un adhesivo específico para este modelo de célula que lo da el fabricante. Se trata de adhesivo epóxico cuya hoja de características se encuentra en los anexos, ver anexo I.

**2.6.- Punto óptimo de enfriamiento de la célula**

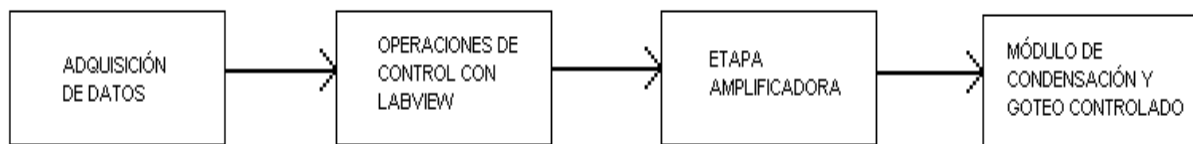
Se sabe por la información que se obtiene de las tablas mostradas a continuación, obtenidas del Proyecto de Collados, que si se le aplican escalones de corriente a la célula Peltier con el disipador de calor utilizado, llega un punto donde la diferencia de temperatura entre la cara fría y la cara caliente no aumenta más. Esto es debido a que a medida que va aumentando la corriente aplicada a la célula, llega un momento en el que la temperatura de la cara fría no disminuye más, sino que aumenta ligeramente. Esto es porque el disipador llega al punto máximo de calor que puede disipar y la temperatura de la cara caliente afecta a la temperatura de la cara fría por lo que ese punto es el punto de máxima diferencia de temperatura entre las caras de la célula.

El valor óptimo de corriente que permite obtener la mínima temperatura en la cara fría no es el valor máximo tolerado por la célula que sería  $I=8A$ , sino que es  $I=3A$ .

## 3.- ETAPAS DEL PROYECTO

**3.1.- Diagrama de Bloques:**

Este proyecto se ha estructurado en cuatro partes:



### **3.2. Adquisición de datos**

Para realizar la adquisición de datos se ha utilizado una tarjeta de adquisición de datos de la marca Measurement Computing, modelo USB 1208-LS, conectada al ordenador mediante un cable USB, por la que se han introducido las salidas en tensión de dos sensores que han medido dos variables termodinámicas: temperatura y humedad relativa.

Para realizar la adquisición se ha programado un instrumento virtual con el programa Labview que se ha encargado de interpretar esos datos.

### **3.3.- Operaciones de control con Labview**

Sobre estos datos adquiridos se han realizado operaciones de control con el software Labview, entre ellas está el diseño de un regulador proporcional, así como el tratamiento de los datos de entrada a la tarjeta. Posteriormente se han direccionado los datos ya tratados a los canales de salida de la tarjeta que han servido para realizar el control sobre la célula de Efecto Peltier.

### **3.4.- Etapa amplificadora**

Se ha realizado un circuito amplificador para adaptar la tensión y corriente de salida de la tarjeta de adquisición de datos, a la célula Peltier, sin perder el control sobre esos datos, cubriendo sus necesidades de demanda eléctrica.

### **3.5.- Módulo de condensación y goteo controlado**

Se ha creado un módulo mediante una célula Peltier y un disipador con ventilación forzada de aire con la idea de que al circular corriente eléctrica sobre él, haga que el vapor atmosférico del aire circulante se condense produciendo goteo de agua.

## **4.- DESARROLLO DEL PROYECTO**

### **4.1.- ADQUISICIÓN DE DATOS**

#### **4.1.1.- Sensor de Temperatura:**

Se ha elegido el sensor de temperatura *LM35* de *National Semiconductor*, ver anexo A.

El sensor LM35 se presenta en diferentes encapsulados pero el mas común es el to-92 con 3 patas, dos de ellas para alimentarlo y la tercera entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo. Con el LM35 sobre la mesa, las patillas hacia nosotros y las letras del encapsulado hacia arriba tenemos que de izquierda a derecha los pines son:

## VCC - Vout - GND

Como se aprecia en la figura de la hoja de características del sensor LM35, la forma de conexión idónea para cubrir todo el rango de temperaturas es con una Resistencia a su salida conectada a -Vs.

La salida es lineal y equivale a 10mV/°C (sensibilidad) por lo tanto:

$$\begin{aligned} +1500\text{mV} &= 150^{\circ}\text{C} \\ +250\text{mV} &= 25^{\circ}\text{C} \\ -550\text{mV} &= -55^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Aquí se aprecia el rango completo de temperaturas que es capaz de medir.

#### 4.1.1A.- Conexión de los sensores de Temperatura

Para la medida de la temperatura se han usado dos sensores LM35 que se han alimentado de distinta manera en función de las necesidades.

Un sensor se ha colocado sobre la cara fría de la célula Peltier para controlar en todo momento la temperatura. Esto se hace así porque este dato de temperatura se realimentará para compararlo con la consigna, que es el valor de temperatura deseado, es decir, el valor de temperatura de rocío. Para diseñar el controlador se necesita saber si hay que ir aumentando o disminuyendo la temperatura para conseguir llegar al punto de rocío.

Este sensor se ha alimentado de forma simétrica. Con esto se consigue medir valores de temperatura por debajo de 0°C. Con esta forma de conexión, se consigue medir desde -55°C hasta 150°C (ver figura de la hoja de características).

Este sensor se ha alimentado a:

$$V_{CC} = \pm 10\text{V}$$

Para calcular la resistencia conectada a la salida del sensor se hace por medio de la ecuación, ver anexo A:

$$R1 = \frac{-V_s}{50\mu\text{A}} \quad (\text{ecuación 4})$$

Donde:

R1: resistencia que se necesita calcular para la alimentación simétrica

Vs: tensión de alimentación

Como en la patilla -Vs hay -10 Voltios la resistencia queda definida:

$$R1=200K\Omega$$

El otro sensor LM35 se ha colocado a la entrada de la tarjeta de adquisición de datos para medir la temperatura ambiente. Ese dato instantáneo de temperatura junto con el dato instantáneo de humedad relativa es necesario para calcular el punto de rocío instantáneo. Este sensor de temperatura conectado de forma básica se ha alimentado a:

$$V_{cc}=10V$$

Este sensor se ha conectado mediante alimentación básica, ya que la temperatura ambiente siempre estará por encima de 0°C. En el caso de que se quisiera conseguir medir la temperatura ambiente para rangos por debajo de 0°C, solamente habría que conectarlo con alimentación simétrica.

#### 4.1.2.- Sensor de Humedad Relativa

Se ha elegido el sensor *Honeywell* modelo *HIH4000*, ver anexo B.

En la tabla 2 del anexo B se puede observar, que la ecuación que relaciona la salida del sensor con la humedad relativa es:

$$RH = \frac{V_{out} - zerooffset}{slope} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

$$\begin{aligned} \text{Zero Offset} &= 0,958 \\ \text{Slope} &= 0,0307 \end{aligned}$$

Si despejamos  $V_{out}$  queda:

$$V_{out} = (RH \times slope) + zero\ Offset = (RH \times 0,0307) + 0,958$$

Según esto:

$$\text{si } RH=0\% \Rightarrow V_{out} = 0,958V$$

$$\text{si } RH=100\% \Rightarrow V_{out} = 3,75V$$

Por lo tanto esos son los valores máximo y mínimo de tensión en la entrada de la tarjeta de adquisición que llegan a Labview.

El fabricante del HIH4000 también ha dado los valores de  $V_{out}$  frente a %RH en una gráfica, ver figura 4: Typical best fit straight line en el anexo B.

El sensor de Humedad relativa se ha alimentado a 5V.

#### 4.1.3- Tarjeta de adquisición de datos USB 1208LS

Para realizar la adquisición de datos se ha utilizado una tarjeta de Measurement Computing modelo USB 1208LS, ver anexo C.



Figura 7: Tarjeta de adquisición USB 1208LS

Esta tarjeta se compone de entradas analógicas necesarias para adquirir los datos de los dos sensores utilizados y direccionarlos al programa Labview para realizar un control sobre ellos. Cuando se trabaja con una tarjeta de adquisición, una de las características más importantes es la precisión, esto es con qué exactitud los datos de salida reflejan la señal de entrada. La tarjeta tiene distintos niveles de entrada dependiendo de si se conecta en modo común o modo diferencial. Ver anexo C > Analog Input > Input ranges > single-ended mode y differential mode.

Los sensores se han conectado a la entrada en modo diferencial, por lo que el rango de entrada ha sido de  $\pm 10V$ . La entrada de tensión a la tarjeta de adquisición no ha sobrepasado nunca los 5V, a pesar de este dato se ha elegido el siguiente rango de tensiones soportado por la tarjeta de adquisición, que es de  $\pm 10V$ . Según esto, la precisión es la siguiente:

$$\text{Precisión} = \frac{\text{escala}}{2^n} = \frac{10}{2^{12}} = 2,44\text{mV} \quad (\text{ecuación 6})$$

Donde:

n=número de bits de la tarjeta de adquisición

Según esto, la resolución en tensión obtenida es suficiente porque la señales que se van a medir están en el rango de voltios, por lo que el error cometido en la cuantización de la medida será pequeño y aceptable.

La tarjeta tiene 4 canales de entrada en modo diferencial de los cuales solo se usarán 3 que captarán los datos de tensión de la salida de los sensores:

- Canal 1: Medida de temperatura ambiente
- Canal 2: Medida de humedad relativa
- Canal 3: Medida de temperatura de la cara fría de la célula Peltier

La conexión de los sensores a la tarjeta se realiza en modo diferencial, con el fin de poder captar los datos positivos y negativos de tensión.

#### **4.1.3.1- Datos de salida de la tarjeta de adquisición de datos USB 1208LS**

La tarjeta de adquisición también dispone de salidas analógicas por las cuales se han direccionado esos datos controlados. Después de realizar un control sobre ellos y adaptar los datos de temperatura y humedad a datos de tensión, que luego se han amplificado porque por la salida de la tarjeta de adquisición hay un rango de tensión de salida de 0 a 5 voltios. Esta tensión de salida es la que hace circular más o menos corriente por la célula. Esto se explicará detalladamente en el capítulo 6 en diseño del circuito amplificador.

El rango de tensión que ofrece la tarjeta de adquisición a su salida está entre 0V y 5V. Ver anexo C > Analog output > Maximum output range

#### **4.1.4.- Esquema de conexionado entre los sensores, la tarjeta de adquisición y el ordenador:**

A continuación se muestra el esquema de conexionado de la tarjeta de adquisición USB 1208-LS, el PC y el circuito de alimentación de los sensores.

Como se puede apreciar, en el siguiente esquema se ha introducido un sensor de temperatura LM35 en la cara fría de la célula Peltier, además del sensor de temperatura LM35 que capta temperatura ambiente. Esto se ha realizado con el fin de monitorizar constantemente la temperatura de la cara fría de la célula, así si la temperatura llega al punto de rocío, mediante el circuito de control, se deja de introducir corriente a la célula. Si la célula necesita bajar su temperatura para llegar al punto de rocío, se le introduce más corriente a ésta y así sucesivamente.



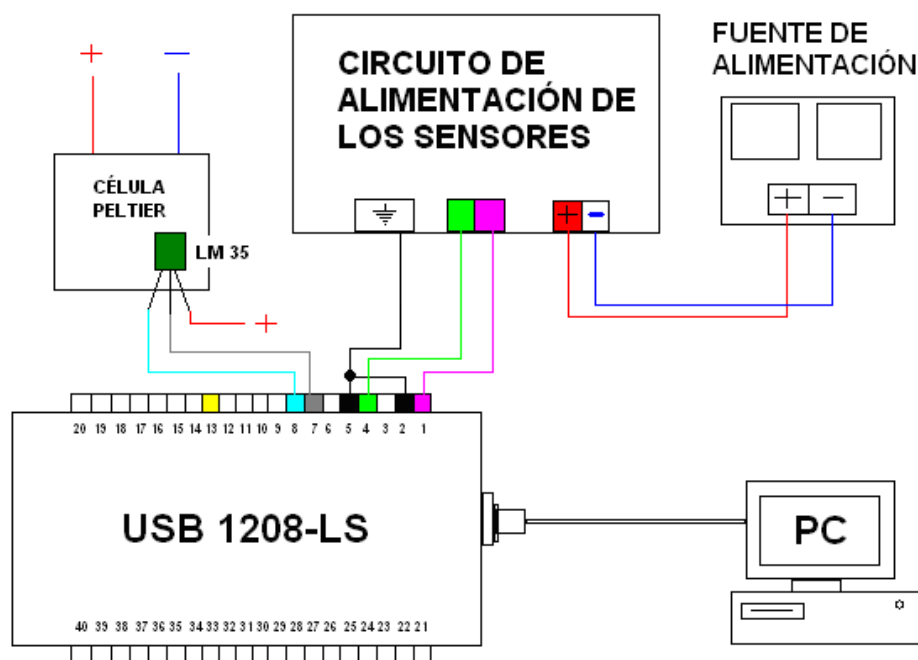


Figura 8: Conexión entre los sensores, la tarjeta de adquisición y el PC

Donde:

- = +Vcc
- = -Vcc
- = Tierra
- = Vout sensor HIH 4000 ( sensor de Humedad )
- = Vout sensor LM 35 ( sensor de temperatura ambiente )
- = Vout sensor LM 35 ( sensor de temperatura en la cara fría de la célula
- = Canal de salida de la tarjeta de adquisición D/A

#### 4.1.5.- Circuito de alimentación de los sensores:

Cada sensor funciona con una alimentación distinta. Estos datos los da el fabricante. La alimentación del sensor de temperatura ambiente LM35 tiene un rango de 4V a 20V y la alimentación del HIH 4000 debe ser de 5V. El sensor LM35 se ha alimentado a 10V y el sensor HIH 4000 se ha alimentado a 5V. Se ha diseñado un divisor resistivo para que de 10V se pase a 5V.

La tensión de alimentación del HIH 4000 se ha calculado de la siguiente forma:

$$V_{HIH\ 4000} = \frac{R2}{R1 + R2} \times V_{a\ lim} = \frac{1}{2} \times 10 = 5V \quad (\text{ecuación 7})$$

El esquema del circuito cableado es el siguiente:

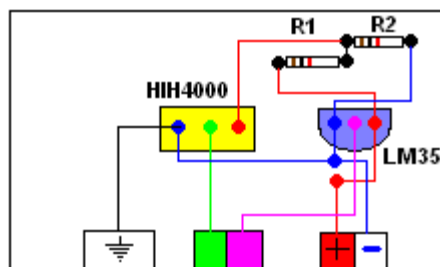


Figura 9: Circuito de alimentación de los sensores

Donde:

- = +Vcc
- = -Vcc
- = Vout HIH 4000
- = Vout LM 35
- = Tierra

La alimentación del sensor de temperatura LM 35 que mide la cara fría de la célula es simétrica, por lo que se ha alimentado entre  $\pm 10V$ . Ver capítulo 3.1.1.- Sensor de temperatura

## 4.2.- DISEÑO DEL CONTROLADOR

### 4.2.1.- Regulación Automática: Teoría de Control.

La regulación automática también llamada Teoría de Control, es una rama de la Ingeniería que se ocupa del control de un proceso en un estado determinado; en este caso, intentar mantener la temperatura de la cara fría de la célula Peltier en la temperatura del punto de rocío.

Este sistema se ha diseñado para estar permanentemente capturando señales de estado bajo su control y al detectar una desviación de los parámetros preestablecidos del funcionamiento normal, han actuado sensores para llevar al sistema de vuelta a sus condiciones operacionales normales de funcionamiento. A medida que han ido cambiando las condiciones atmosféricas de temperatura o humedad relativa, el sistema ha ido modificando su tensión y corriente para conseguir establecer la cara fría de la célula Peltier en el punto de rocío.

A continuación se muestra el esquema general del proceso que se ha regulado:

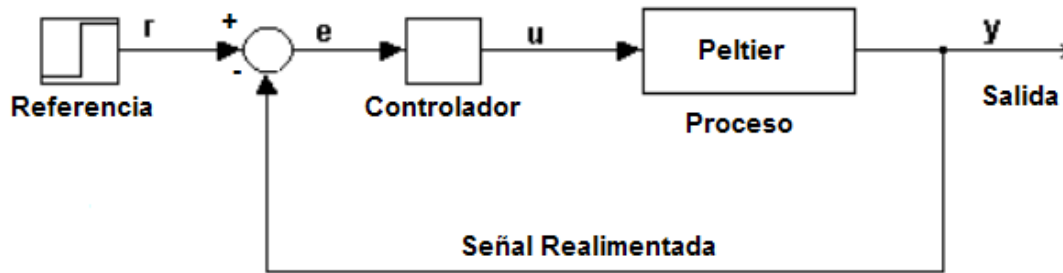


Figura 10: Esquema general de un proceso regulado

La regulación automática, estudia el comportamiento de los sistemas dinámicos, tratándolos como *cajas* o *bloques* con una entrada y una salida. En este caso, las entradas al sistema son señales analógicas que se han captado por medio de un programa llamado Labview, preparado para realizar adquisición de datos. Los bloques intermedios representan las perturbaciones que afectan a la señal.

Todos estos efectos se han representado mediante la función matemática que los describe, llamada función de transferencia. La salida del sistema se llama referencia y corresponde al valor de la señal tras actuar sobre ella las anteriores funciones de transferencia. Cuando una o más de las variables de salida de un sistema tienen que seguir el valor de una referencia que cambia con el tiempo, se necesita poner un controlador que manipule los valores de las señales de entrada al sistema hasta obtener el valor deseado de salida, este regulador puede ser proporcional, derivativo, integrador...

En este caso se ha diseñado un regulador proporcional, debido a que se ha diseñado el sistema para que se de una regulación lineal. Esto es porque cuando se necesita una temperatura más alta, se da menos tensión, y cuando se necesita una temperatura más baja, se da más tensión. Esto se explicará detalladamente en el apartado de diseño del controlador.

#### 4.2.2.- Conceptos sobre Teoría clásica de control: control en lazo cerrado

Un sistema que mantiene una relación establecida entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado o de lazo cerrado.

Un regulador de lazo cerrado utiliza la realimentación para controlar los estados y las salidas de un sistema dinámico. El nombre de "lazo cerrado" es debido al camino que sigue la información en el sistema. Estas salidas se miden con sensores y se procesan, una vez comparadas con la referencia o consigna, mediante un controlador o regulador. El resultado, una señal de control, se añade a la entrada al proceso, cerrando el lazo. El control de lazo cerrado siempre debe estar formado por:

- Un proceso

- Medida y transmisión de la variable
- Controlador
- Elemento final de control

El control con lazo cerrado presenta las siguientes ventajas sobre el control en lazo abierto:

- corrección de las perturbaciones
- buen comportamiento incluso con incertidumbre en el modelo, es decir, en aquellos casos en que la estructura del modelo no representa perfectamente la realidad del proceso o los parámetros del modelo no se pueden medir con absoluta precisión
- permite estabilizar procesos inestables
- tolerancia a variaciones en los parámetros

La única desventaja del control en lazo cerrado, frente al control en lazo abierto, es que el primero reduce la ganancia total del sistema.

#### **4.2.2.1.- Estabilidad**

Un sistema es estable si ante cualquier entrada acotada en un intervalo de tiempo la salida también está acotada. Matemáticamente, esto significa que para que un sistema lineal continuo en el tiempo sea estable, todos los polos de su función de transferencia deben estar situados en la mitad izquierda del plano complejo si se usa la transformada de Laplace, es decir, su parte real debe ser menor o igual que cero.

#### **4.2.3.- Modelado del sistema**

Lo primero que se ha hecho para estudiar este sistema es modelizarlo. Como ya se hizo otro proyecto con la misma célula Peltier, el mismo disipador y el mismo ventilador, se han tomado los datos del sistema ya modelado para trabajar con ellos en este proyecto. A continuación se hace una breve explicación de cómo se modeló el sistema en el anterior Proyecto con células Peltier.(ver bibliografía [1])

Para modelar el sistema se le fueron aplicando a la célula escalones de corriente de desde 0 hasta 4 amperios en incrementos de 0,5A y se fueron tomando medidas en la cara fría y la cara caliente en intervalos de 30 segundos hasta alcanzar el régimen permanente. A partir de ahí se calculó la constante de tiempo para cada escalón de corriente y se llegó a la conclusión de que:

$$\zeta=60s$$

Para obtener las ecuaciones del sistema se tuvo en cuenta la diferencia de temperatura que se alcanzó entre las caras de la célula, en función de la corriente aplicada. Ver bibliografía [1]. Aquí se muestran los valores en una tabla:

I [A]	(T <sub>C</sub> -T <sub>F</sub> ) [°C]
0	0,0
0,5	9,6
1	15,9
1,5	20,7
2	24,8
2,5	28,5
3	30,5
3,5	32,2
4	33,4

Tabla 4: Diferencia de temperatura entre las caras de la célula Peltier en función de la corriente aplicada

Después de representar los valores y ajustar la curva, se obtuvo que la diferencia máxima de temperaturas entre las caras fue de 37,7°C. Según estos datos, en la cara fría de la célula Peltier se llegó a obtener 1°C y en la cara caliente 35 °C, ver anexo H.

Estos datos aparentemente serían suficientes para llegar al punto de rocío, ya que en el laboratorio, la temperatura de rocío siempre se sitúa entre 7°C y 9°C.

Los sistemas de control actuales son, por lo general, no lineales. Sin embargo, si es posible aproximarlos mediante modelos matemáticos lineales. La teoría de control clásica esta basada en los sistemas lineales invariantes en el tiempo.

Este sistema también se tuvo que linealizar para poder obtener el diagrama de bloques del funcionamiento de la célula.

Se linealizó la ecuación del sistema y la curva linealizada quedaba:

$$(T_c - T_f)(I) = 13,51(I)$$

Por lo tanto 13,51 es el valor que transforma la diferencia de temperatura, medida entre las caras de la célula, en corriente. Ver bibliografía [1]

Con la constante de tiempo y la ecuación linealizada se determinó el sistema físico equivalente de la célula Peltier, es decir, el modelo matemático del sistema.

La función de transferencia del sistema es:

$$H(s) = \frac{1}{s + \frac{1}{60}} \quad (\text{ecuación 8})$$

O lo que es lo mismo:

$$H(s) = \frac{0,01667}{s + 0,01667}$$

Por lo tanto el diagrama de bloques que quedaba es el siguiente:

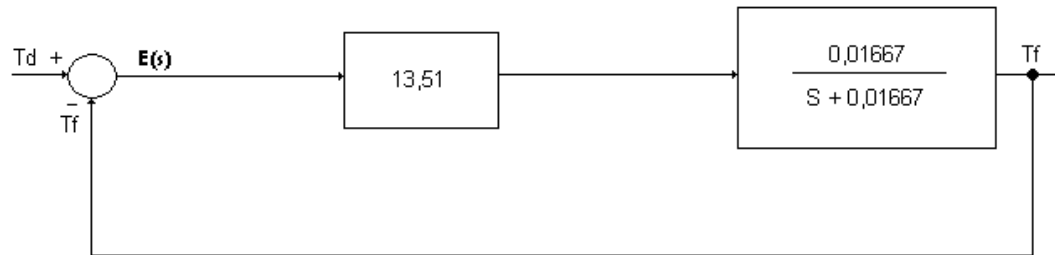


Figura 11: Diagrama de bloques sin el error

Donde:

$E(s)$  es el error en estado estacionario

$T_d$  es la consigna o temperatura del punto de rocío deseada

$T_f$  es la temperatura real medida de la cara fría de la célula Peltier.

Este sistema se diseñó para controlar la temperatura dentro de un volumen cerrado de aire mediante la utilización de varias células de efecto Peltier. En este caso el sistema que se ha diseñado es para controlar la temperatura de la cara fría de la célula y llevarla hasta el punto de rocío para que cuando se ponga en contacto con el vapor atmosférico se produzca goteo de agua.

Cuando al sistema se le solicita una temperatura cercana a la temperatura ambiente, el sistema responde perfectamente, pero cuando al sistema se le solicita un decremento de la temperatura hasta la temperatura del punto de rocío, el sistema da un error considerable, por eso se ha calculado el error y se ha aumentado la ganancia del sistema. Con esto se consigue un aumento de la corriente que circulará por la célula Peltier y además se consigue minimizar el error cuando se busca una temperatura cercana a la del punto de rocío.

El aumento de la ganancia del regulador provocará una disminución entre la temperatura fría esperada y la real.

#### 4.2.3.1.- Cálculo del error en estado estacionario:

Partiendo del diagrama de bloques anterior realizan las siguientes operaciones para el cálculo del error.

Considerando el sistema con la entrada de  $T_d - T_f$ , se hace el cálculo de la función de transferencia con realimentación unitaria y queda:

$$\frac{T_f(s)}{T_d(s)} = \frac{13,51 \cdot \frac{0,01667}{s + 0,01667}}{1 + 13,51 \cdot \frac{0,01667}{s + 0,01667}} = \frac{0,2252117}{s + 0,2418817}$$

De aquí se puede obtener:

$$T_f(s) = T_d(s) \cdot \frac{0,2252117}{s + 0,2418817}$$

Del diagrama de bloques también se deduce:

$$E(s) = T_d(s) - T_f(s) \quad (\text{ecuación 9})$$

Por lo tanto, de la ecuación 9 se tiene:

$$E(s) = T_d(s) - T_d(s) \cdot \frac{0,2252117}{s + 0,2418817} = T_d(s) \cdot \left( \frac{s + 0,2418817 - 0,2252117}{s + 0,2418817} \right)$$

Por Teoría de Control, el error en estado estacionario del sistema ante entradas escalón unitario se obtiene aplicando el Teorema del Valor Final que es:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$$

Según esto el error en estado estacionario es:

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \left[ s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{s + 0,2418817 - 0,2252117}{s + 0,2418817} \right] = 0,07$$

Como la entrada es un escalón, al Teorema del Valor Final se le ha metido un escalón o lo que es lo mismo una función  $\frac{1}{s}$ .

El error en estado estacionario es:

$$e_{ss} = 7\%$$

#### 4.2.4.- Diseño del regulador:

Para disminuir el error en estado estacionario, se ha aumentado la ganancia en la regulación de tipo proporcional, esto se traduce matemáticamente a la introducción de un bloque que regula R(s):

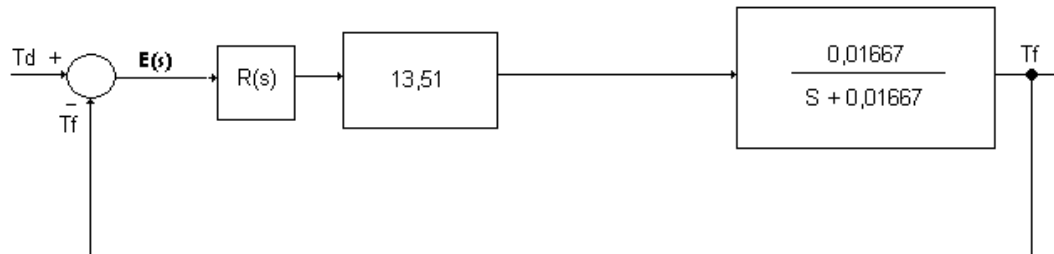


Figura 12: Diagrama de bloques con el error

La función de transferencia con el nuevo error R(s) de este sistema es:

$$\frac{Tf(s)}{Td(s)} = \frac{R(s) \cdot 13,51 \cdot \frac{0,01667}{s + 0,01667}}{1 + R(s) \cdot 13,51 \cdot \frac{0,01667}{s + 0,01667}} = \frac{R(s) \cdot 0,2252117}{(s + 0,01667) + R(s) \cdot 0,2252117}$$

O lo que es lo mismo:

$$\frac{Tf(s)}{Td(s)} = \frac{R(s)}{(s + 0,01667)4,440266647 + R(s)}$$

De aquí se obtiene:

$$Tf(s) = Td(s) \cdot \left( \frac{R(s)}{(s + 0,01667) \cdot 4,440266647 + R(s)} \right)$$

Del diagrama de bloques también se deduce:

$$E(s) = Td(s) - Tf(s)$$

Por lo tanto queda:

$$E(s) = Td(s) - Td(s) \cdot \left( \frac{(s + 0,01667) \cdot 4,440266647 + R(s) - R(s)}{(s + 0,01667) \cdot 4,440266647 + R(s)} \right)$$



El error en estado estacionario del sistema, en términos del regulador  $R(s)$ , se obtiene aplicando el Teorema del Valor Final, por lo tanto:

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \left[ s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{(s + 0,01667) \cdot 4,440266647}{(s + 0,01667) \cdot 4,440266647 + R(s)} \right]$$

O lo que es lo mismo:

$$e_{ss} = \frac{0,07401924}{0,07401924 + R(s)}$$

Para este diseño se ha considerado un error aceptable ante entradas de escalón unitario del 2%:

$$e_{ss} \leq 2\%$$

La ganancia del regulador, en términos del error del estado estacionario será de:

$$R(s) = \frac{0,07401924}{e_{ss}} - 0,07401924$$

Con la condición que se ha diseñado queda:

$$R(s) \geq \frac{0,07401924}{0,02} - 0,07401924$$

Por lo tanto, el regulador proporcional que se deberá meter al sistema deberá cumplir que:

$$R(s) \geq 3,6$$

Por lo tanto habrá que aumentar la ganancia del regulador:

$$R(s) = 3,6$$

Con este valor el diagrama de bloques queda de la siguiente manera:

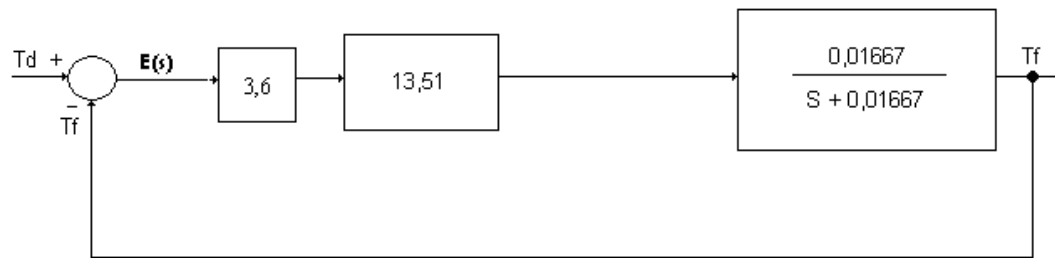


Figura 13: Diagrama de bloques con los valores calculados

#### 4.3.- PROGRAMA DISEÑADO CON LABVIEW

Labview es el programa de control con el que se han desarrollado las funciones necesarias para la adquisición de datos en este proyecto. Estas funciones se han realizado por medio de la creación de instrumentos virtuales que imitan los instrumentos físicos como pueden ser osciloscopios, multímetros etc.

Labview básicamente está formado por dos partes:

- *Panel frontal (front panel)*: permite trabajar con los datos adquiridos y visualizarlos.
- *Diagrama de Bloques (block diagram)*: es la parte que desarrolla la aplicación que procesa las entradas y salidas creadas en el *front panel*.

##### 4.3.1.- Diagrama de Bloques:

En el diagrama de bloques se programan las acciones para conseguir los objetivos propuestos. En esta aplicación los objetivos son:

- Adquisición de datos.
  - Etapa de transducción: traducción de los datos adquiridos de tensión en temperatura y humedad relativa.
  - Realización de operaciones de control con los datos adquiridos.
  - Direccionamiento y salida de los datos por la tarjeta de adquisición.
- Para esto se transforman los datos de temperatura en corriente y tensión.

##### 4.3.2.- Instrumentos Virtuales utilizados en la aplicación

Cada instrumento virtual que ha sido creado consta de un Panel de Control y un Diagrama de Bloques. Ver bibliografía [2]. Se han programado varios instrumentos virtuales. Los dos principales son:

- Instrumento virtual para la adquisición de datos
- Instrumento virtual para la salida de datos.

Dentro de estos hay otros instrumentos virtuales llamados SubVI's que participan en el correcto funcionamiento de los dos instrumentos virtuales principales.

Estos subVI's son diseñados por el fabricante de cada Tarjeta de adquisición, también se llaman *Drivers*. Estos se han encontrado en la Librería Universal del CD de instalación de la tarjeta de adquisición de datos USB 1208-LS de Measurement Computing.

#### 4.3.2A.- Instrumento Virtual para la Adquisición de datos:

La adquisición de datos se ha realizado por medio de un instrumento virtual que es el encargado obtener las variaciones de tensión dadas por los sensores de temperatura y humedad relativa.

El diagrama de bloques que se ha programado para cada sensor es el siguiente:

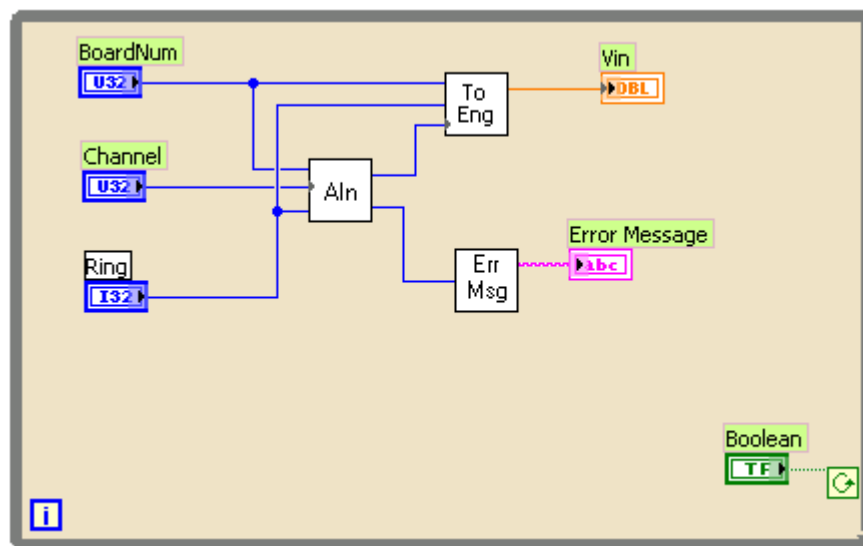


Figura 14: Adquisición de Datos: Diagrama de Bloques.

Este diagrama de bloques consta a su vez de otros 3 subinstrumentos virtuales utilizados para realizar la adquisición de datos. En color blanco se aprecian:

- ToEng
- AIn
- ErrMsg

En los anexos se puede ver lo que hace cada uno de estos SubInstrumentos virtuales.

En azul se observan las señales que dependiendo del tipo de dato que se ha manejado son *Unsigned Integer Numeric* que transportan y almacenan datos de tipo entero de 16 bits o doble entero de 32 bits y en color naranja datos de *Double Precision* que transportan y almacenan datos de 64 bits.

Las señales de entrada se sitúan a la izquierda de los instrumentos virtuales y las de salida se encuentran a la derecha. Existe relación entre el Panel Frontal y el Diagrama de Bloques, ya que aparecen los mismos nombres en los iconos de uno y de otro sitio.

En rosa se puede apreciar el mensaje de error y para ello se ha creado una cadena de caracteres de longitud variable que almacena tanto letras como datos numéricos.

En verde se aprecia el recuadro llamado TF (*True-False*) que es la condición del bucle "*While*" de color gris que encierra todos estos bloques. El bucle *While* funciona con la condición de *True* o *False* y se repite mientras la condición dada sea la condición que se cumple. En el momento que la condición cambia, el bucle deja de repetirse y deja de funcionar.

A continuación se ve el Panel Frontal de la Adquisición de datos:

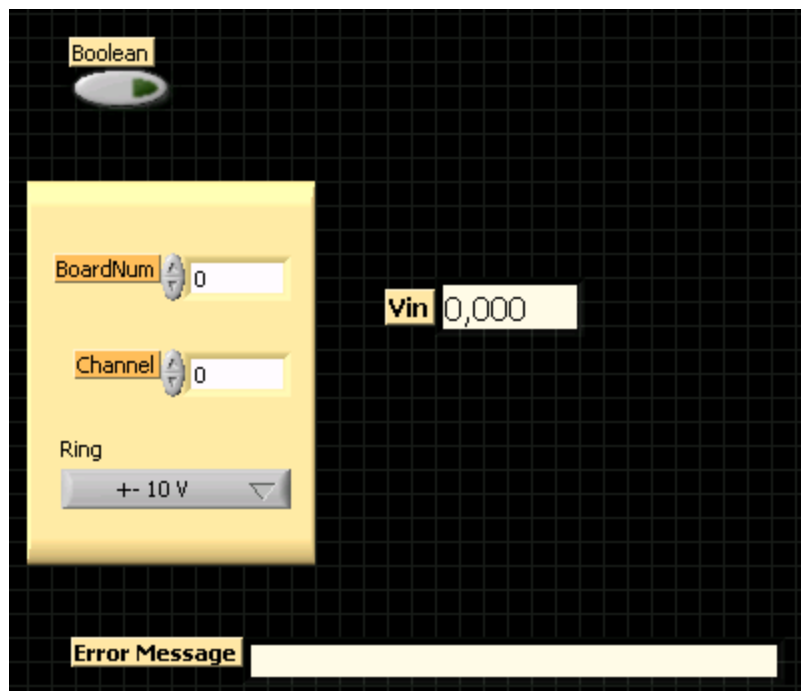


Figura 15: Adquisición de Datos: Panel Frontal.

En este Panel Frontal aparece:

- **BoardNum:** es el número de tarjeta de adquisición de datos, por si se necesitan colocar más en una posterior ampliación de este proyecto.
- **Channel** es para seleccionar el canal por donde entran los datos a Labview. Cada sensor está conectado a la tarjeta en canales distintos, y a Labview esto hay que decírselo de alguna forma.
- **Ring** es el rango de tensión de entrada a la tarjeta de adquisición.
- **Vin** es la tensión de entrada. Se ha puesto este icono para visualizarla.
- **Error Message** por si hay algún error en el rango de tensión de entrada.

#### 4.2.2B.- Instrumento Virtual para la Salida de datos:

De igual forma que ha habido que hacer un Instrumento Virtual para la adquisición de datos, se ha tenido que diseñar otro para la salida de datos desde el ordenador a los canales de salida de la tarjeta. El diagrama de bloques es el siguiente:

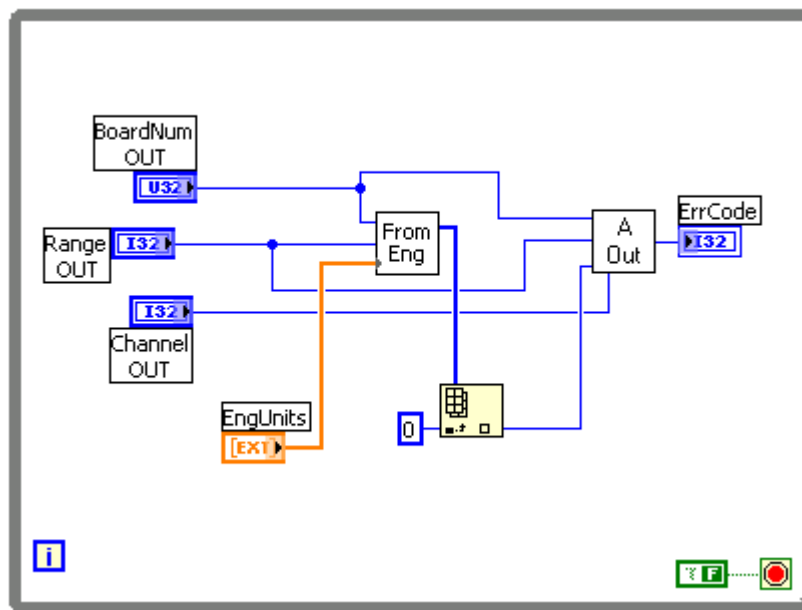


Figura 16: Salida de Datos: Diagrama de Bloques

En este diagrama se pueden apreciar los Instrumentos Virtuales utilizados para realizar el direccionamiento de los datos a los canales de salida de la tarjeta y son:

- FromEng

- AOut

En los anexos se puede ver lo que hace cada uno de estos SubInstrumentos virtuales.

En azul se observan las señales que dependiendo del tipo de dato que se ha manejado son *Unsigned Integer Numeric* que transportan y almacenan datos de tipo entero de 16 bits o doble entero de 32 bits y en color naranja datos de *Double Precision* que transportan y almacenan datos de 64 bits.

En este caso se ha tenido que colocar un *array* de datos a la salida (bloque amarillo), debido a que se han metido dos entradas, se ha operado con ellas, pero solo se ha podido obtener una salida, que es la que se dirige a la célula Peltier, previamente amplificada.

Al igual que en el VI de adquisición se observa que las señales de entrada se sitúan a la izquierda de los SubVI's y las de salida a la derecha.

Estos bloques también están encerrados en un bucle *While* con la condición de *True-False* para funcionar.

A continuación se ve el Panel Frontal de la Salida de Datos:

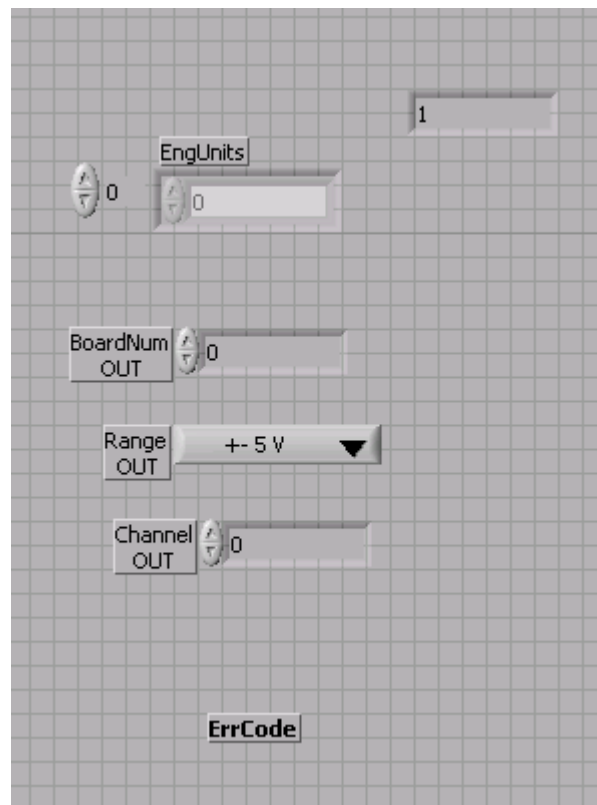


Figura 17: Salida de Datos: Panel Frontal

En esta figura se aprecia:

- **BoardNumOUT:** es el número de tarjeta de adquisición de datos, por si se necesitan colocar mas en una posterior ampliación de este proyecto.
- **Range OUT:** es el rango de la tensión de salida. Solo puede ser de 0 a 5V por eso se ha puesto de  $\pm 5V$ .
- **Channel OUT:** selecciona el canal de salida.
- **EngUnits:** Este indicador aparece en el panel frontal cuando se programa en el diagrama de bloques. No se puede cambiar, son datos internos del bloque.

#### 4.3.3- Tensiones de entrada a Labview.

En la entrada de la tarjeta de adquisición de datos, hay tres sensores, que son los encargados de medir dos variables termodinámicas, temperatura del ambiente y temperatura de la cara fría de la célula Peltier y humedad relativa, traducidas a niveles de tensión. Esto se ha realizado por medio de los datos de sensibilidad dados por el fabricante de cada uno de los sensores. Con estos datos, por medio de Labview, se hacen las operaciones necesarias para controlar en todo momento las variaciones de tensión de salida de los sensores. Esa misma tensión de salida es la tensión de entrada a la tarjeta de adquisición de datos.

##### 4.3.3A.-Sensor LM35:

Como hay dos sensores LM35 se han utilizado dos Instrumentos Virtuales, uno para cada sensor, que se han encargado de la adquisición de los datos de cada uno de estos sensores.

Como es de esperar, estos instrumentos virtuales son iguales. A continuación se explicará detalladamente uno de ellos. El otro es exactamente igual, solo cambia el número del canal asignado a la entrada de la tarjeta de adquisición.

La sensibilidad del LM35 es de  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto según estos datos, la tensión que llega a la tarjeta de adquisición varía desde  $0,01\text{V}$  a  $0,25\text{V}$  aproximadamente. Ver [1] en la bibliografía.

Estos son valores aproximados para tener un control de las tensiones que le llegarán a la tarjeta mediante cada uno de los sensores, porque, aunque el sensor mida desde  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  no se llegará a esos valores nunca.

Su sensibilidad es lineal. Ver anexo A, figura 2.

$$V_{\text{out}} = 10\text{mV} / ^{\circ}\text{C}$$

Mediante estos datos se ha traducido la tensión a temperatura mediante el siguiente diagrama de bloques:

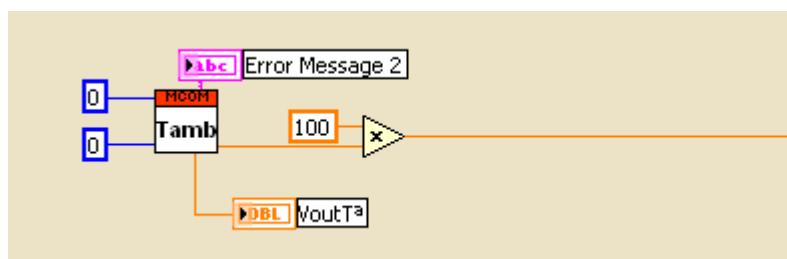


Figura 18: Diagrama de bloques V-Tª del LM35

En este primer diagrama de bloques se aprecia a la izquierda un Instrumento Virtual (*Virtual Instrument* o VI), llamado Tamb que realiza la adquisición de datos de la temperatura ambiente. El otro instrumento virtual para la adquisición de datos de la temperatura de la cara fría de la célula se ha llamado Tf.

Como se observa en la figura, el VI tiene seleccionado el canal 0 que es el asignado para el sensor de temperatura ambiente y el otro 0 indica que se está utilizando la única tarjeta de adquisición usada en este proyecto. En ese caso cada una estaría numerada correctamente.

Después de la adquisición a la derecha en rosa está el mensaje de error, que es una cadena de caracteres que indica si hay algún error en la toma de medida o no llega información o el rango de tensiones de entrada no es el correcto.

En amarillo se observa el bloque multiplicador que multiplica por 100 la tensión para convertirla a datos de temperatura y trabajar con ellos.

El dato DBL en naranja es un indicador que sirve para ver la entrada en tensión en el front panel que lo he llamado VoutTª.

Lo que se pretende es comparar la temperatura de rocío con la temperatura de la cara fría de la célula Peltier, por eso la dimensión de los datos debe ser correcta.

#### 4.3.3B.- Sensor HIH4000:

Su sensibilidad está dada en la hoja de características del fabricante. Ver datos de RH en anexo B > Tabla 2: example data printout

La ecuación de la Humedad relativa es:



$$RH = \frac{V_{out} - ZeroOffset}{Slope} \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

Zero Offset= 0.958V

Slope=30,680mV/%RH

Como sensor RH viene expresado en %, se ha dividido entre 100 para obtener el dato correcto.

Esta ecuación se ha implementado en Labview mediante el siguiente diagrama de bloques:

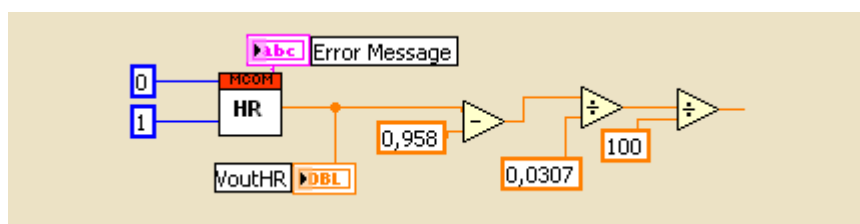


Figura 19: Diagrama de bloques V-T<sup>a</sup> del HIH 4000

Como se aprecia en la figura, se ha introducido un Instrumento Virtual para la adquisición, el cual capta las variaciones de tensión del sensor.

A continuación aparece el dato DBL en naranja que es un indicador de la salida de tensión en el Front Panel a la que se ha llamado VouthHR.

A continuación se realizan las operaciones tal y como la ecuación de la hoja de características del fabricante dice, por lo tanto a la salida del bloque divisor hay datos de Humedad Relativa.

#### 4.3.4.- Temperatura del Punto de rocío, Td:

Para convertir esos datos adquiridos de Temperatura y Humedad relativa a Temperatura de rocío se ha empleado la ecuación:

$$Td = T + 35 \log HR \quad (\text{ecuación 11})$$

El diagrama de bloques equivalente a esta ecuación es el siguiente:

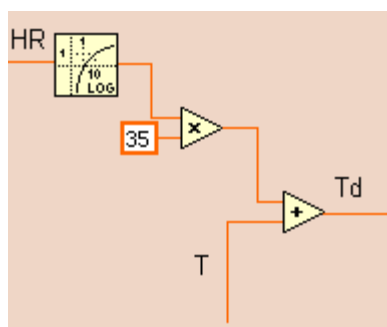


Figura 20: Diagrama de bloques de la ecuación del punto de rocío

Donde:

HR = Humedad Relativa

T = Temperatura

Td = Temperatura del punto de rocío

Los bloques que aparecen en el dibujo son un Logaritmo, un bloque multiplicador y un bloque sumador.

Ahora estos datos de la temperatura del punto de rocío se tendrán que transformar a datos de corriente. Esto se hace mediante el dato calculado anteriormente en el apartado de “modelado del sistema”. Ese valor numérico es 13,51.

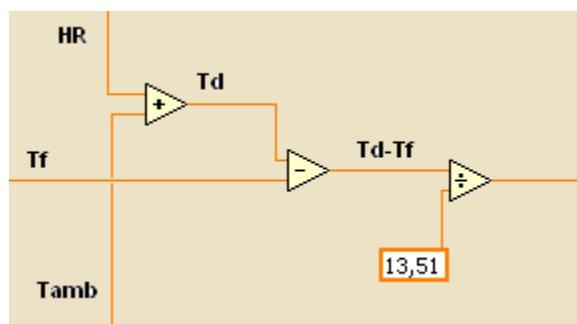


Figura 21: Diagrama de bloques de las operaciones del Punto de rocío

Como se aprecia en el diagrama de bloques aparece también Tf y Td-Tf.

La temperatura Td-Tf aparece porque a la temperatura del punto de rocío se le ha restado la temperatura de la cara fría de la célula Peltier. Esto se hace para realimentar el sistema con los datos de la temperatura de la cara fría y compararlos constantemente para minimizar el error que se va produciendo. A continuación se divide entre los 13,51 para obtener datos de corriente a la salida.

#### 4.3.5.- Bloque Regulador:

Como se ha visto anteriormente se ha diseñado un regulador para conseguir minimizar el error. Su ganancia es 3,6.

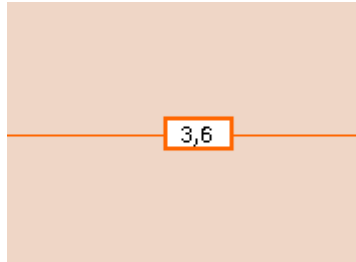


Figura 22: Bloque regulador

#### 4.3.6.- Diagrama de bloques completo:

A continuación se muestra el diagrama de bloques completo donde aparecen los Instrumentos Virtuales de adquisición y salida de datos cableados y todas las operaciones realizadas. Como se puede observar el regulador de ganancia 3,6 no aparece debido a que teóricamente se ha calculado pero en la práctica no se ha utilizado. (Esto se explicará en el apartado 4.1 Conclusiones) El dato que aparece de 50 es el error medido para que se consiga una amplificación de corriente de 3A en la salida del circuito.

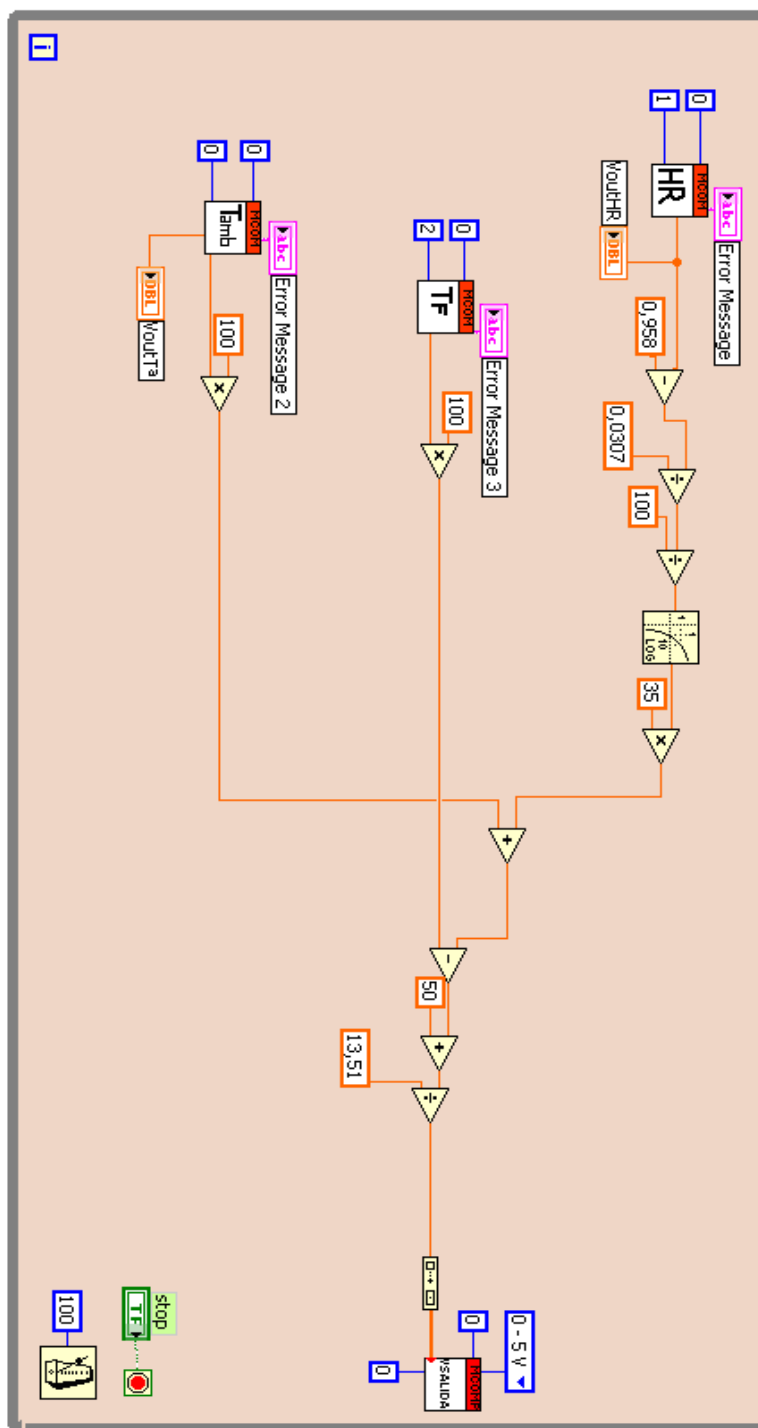


Figura 23: Diagrama de bloques completo

#### 4.3.7.- Panel de Control Completo:

A continuación se muestra el Panel de Control completo donde aparecen las entradas de las tensiones que le llegan a Labview

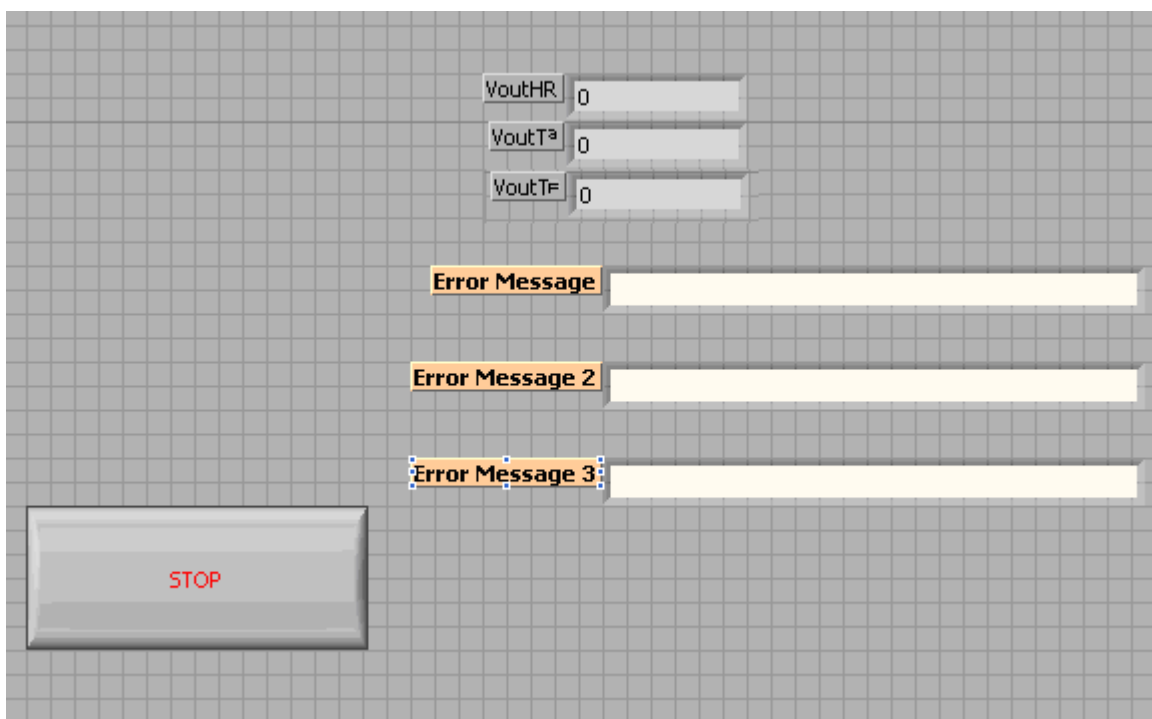


Figura 24: Panel de control Completo

En él se aprecian las tensiones de salida de los tres sensores, los mensajes de error en el caso de que hubiera algún error y el botón de stop que pone en marcha o para el funcionamiento de la adquisición de datos.

#### 4.4.- DISEÑO DEL CIRCUITO AMPLIFICADOR

##### 4.4.1- Etapa amplificadora:

Al medir la temperatura de rocío en el laboratorio de la Universidad, se sabe que siempre ronda entre  $7^{\circ}\text{C}$  y  $9^{\circ}\text{C}$ , por lo que la cara fría de la célula debe llegar a esta temperatura.

Lo primero que se ha hecho para realizar la etapa amplificadora es ver la demanda de corriente que necesita la célula para llegar a tener entre sus caras una diferencia grande de temperatura para poder llegar a los  $7^{\circ}\text{C}$  en la cara fría.

Para el sistema ya montado de la célula, ventilador y disipador, se hizo el siguiente estudio con la curva ya linealizada. Ver [1] en la bibliografía:

En la siguiente curva experimental, se ve que si se llega a una diferencia de temperatura entre las caras de la célula de  $30^{\circ}\text{C}$ , la corriente necesaria es de 3A. Suponiendo que la cara caliente esté a  $30^{\circ}\text{C}$ , la cara fría estaría a  $0^{\circ}\text{C}$ , por lo que sería suficiente para llegar al punto de rocío.

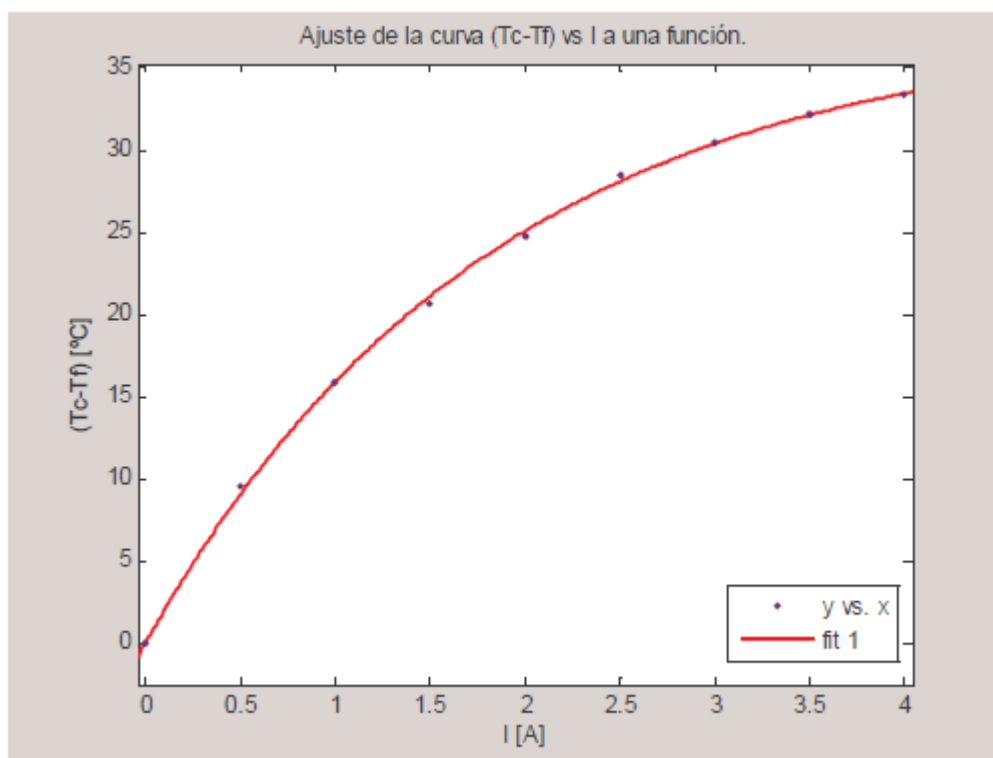


Figura 25: Curva ajustada de  $(T_c - T_f)$  frente a  $I$

Como este estudio se hizo para una corriente máxima de 4A, para realizar la etapa amplificadora se ha diseñado un circuito de amplificación que necesita obtener a su salida entre 0 y 4 amperios, los cuales son los que alimentan la célula Peltier.

Se ha diseñado una etapa amplificadora que se ha instalado entre la tarjeta de adquisición USB 1208-LS y la célula de efecto Peltier. Esta etapa se necesita porque la tarjeta de adquisición de datos USB 1208-LS da una corriente de salida demasiado baja para poder conseguir alimentar la célula Peltier.

La corriente de salida en la tarjeta de adquisición USB es de 30mA. Ver anexo C > Output drive. Esta es la razón por la cual se necesita un amplificador de potencia mediante el cual se pueda amplificar esa corriente y así alimentar la célula Peltier que llega a consumir picos de corriente de hasta casi 4 Amperios.

A continuación se explica el diseño del circuito de amplificación.

#### 4.4.2.- Parámetros para el diseño del circuito amplificador

Para realizar el diseño de la etapa amplificadora se ha tenido en cuenta varios aspectos.

- Se necesita mucha ganancia en corriente.

- Se necesitan componentes de potencia debido a que la corriente es elevada.
- Se quiere controlar la corriente que alimenta la célula Peltier.

Según estas especificaciones se ha ido diseñando el circuito amplificador.

#### 4.4.2.1.- Diseño del par Darlington

Como se ha dicho, la primera especificación de diseño es la ganancia en corriente.

Como se ha visto en la figura anterior, la corriente de salida de la tarjeta de adquisición es de 30mA y se necesita llegar por lo menos a 3A para llegar al punto de rocío.

El mejor sistema para esto es un par Darlington; esto consiste en la combinación de dos transistores bipolares en un tándem. La ganancia total del par Darlington es el producto de la ganancia de los transistores individuales.

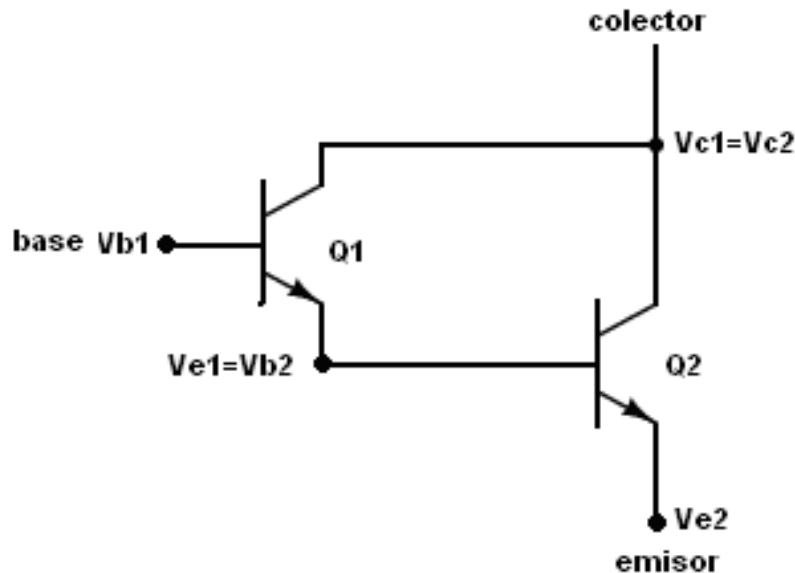


Figura 26: Par Darlington

Según este circuito, las ecuaciones de funcionamiento son:

$$I_{E1} = (1 + \beta_1) \cdot I_{B1} \quad (\text{ecuación 12})$$

$$I_{E2} = (1 + \beta_2) \cdot I_{B2} \quad (\text{ecuación 13})$$

Como  $I_{B2} = I_{E1} \Rightarrow$  Si operamos con las ecuaciones 12 y 13, entonces:

$$I_{E2} = (1 + \beta_2) \cdot (1 + \beta_1) \cdot I_{B1} \quad (\text{ecuación 14})$$

Amplifica la corriente hasta los valores que se necesitan.

#### **4.4.2.2.- Elección de los componentes de alta potencia**

Los transistores se pueden clasificar atendiendo a diferentes características.

Una de las clasificaciones de los transistores se puede hacer en función de la potencia. Si atendemos a esta clasificación existen dos tipos de amplificadores:

- Baja potencia.
- Alta potencia.

Los de baja potencia soportan niveles de tensión y corriente bajos y disipan menos de 1 vatio. Los de alta potencia soportan niveles de tensión y corriente elevados y disipan más de 1 vatio.

Para elegir el amplificador de alta potencia se han tenido en cuenta los valores máximos soportados. Un diseño correcto nunca permite que las tensiones o corrientes se acerquen a las limitaciones máximas, ya que si no se acorta la vida de los dispositivos.

Para la elección de los componentes del par Darlington, se necesitan dos transistores de alta potencia que son:

Q1 => NPN 2N3055 . Ver anexo D y [1] bibliografía.

Q2 => NPN 2N3716. Ver anexo E.

El transistor Q1 tiene un valor máximo de corriente de 7A, por lo que será suficiente para la corriente que circulará por él.

Con el transistor Q2 pasa lo mismo. En su colector pueden circular hasta 10A, así que si la célula necesita 4A será suficiente para que puedan circular por él.

##### **4.4.2.2.1.- Elementos de refrigeración para los transistores de alta potencia**

Una manera de aumentar la potencia máxima que puede disipar un transistor consiste en deshacerse con mayor rapidez del calor interno. Esto se consigue con un disipador de calor. Si se aumenta el área superficial de encapsulado del transistor, se permite que el calor se escape fácilmente hacia el aire, por eso se ha colocado un disipador en cada transistor calculado previamente.

##### **4.4.2.2.1A.- Factor de ajuste del 2N3716**

Indica como disminuye el límite máximo de potencia por cada grado de aumento de temperatura por encima de un valor determinado. Ver anexo E > Maximum ratings > Total Power Dissipation

Para el 2N3716 el límite máximo de potencia es:



$$PD_{\text{máx}} = 150 \text{ W (a } 25^\circ\text{C)}$$

Y el factor de ajuste es:

$$\text{Factor de ajuste} = 0,857 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Si por ejemplo T aumenta a  $60^\circ\text{C}$ :

$$PD_{\text{máx}} = 150 - 0,857(60 - 25) = 120\text{W}$$

Lo que significa que habría que reducir el límite máximo de potencia con el disipador adecuado.

El factor de ajuste es el inverso de la resistencia térmica:

$$\text{Factor de ajuste} = \frac{1}{1,17} = 0,85$$

Ver anexo E > Thermal characteristics

#### **4.4.2.2.1B.- Factor de ajuste del 2N3055**

Para el 2N3055 el límite máximo de potencia es :

$$PD_{\text{máx}} = 115 \text{ W (a } 25^\circ\text{C)}$$

Y el factor de ajuste es:

$$\text{Factor de ajuste} = 0,657 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Si por ejemplo T aumenta a  $60^\circ\text{C}$ :

$$PD_{\text{máx}} = 115 - 0,657(60 - 25) = 92\text{W}$$

Lo que significa que habría que reducir el límite máximo de potencia con el disipador adecuado.

El límite máximo de potencia y el factor de ajuste del 2N3055 aparece en la hoja de características. Ver anexo D > Maximum Ratings

El factor de ajuste es el inverso de la resistencia térmica:

$$\text{Factor de ajuste} = \frac{1}{1,52} = 0,66$$

Ver anexo D > Thermal characteristics.

Con estos datos se conoce el disipador que se tiene que poner a cada transistor. Se colocará un disipador para que disminuya la cantidad de calor que hay en el transistor al circular la corriente y así no llegar al límite máximo de potencia, ya que si aumenta la temperatura en el transistor, disminuye el límite máximo de potencia admitido.

#### 4.4.2.3.- Amplificador operacional como seguidor de tensión

Para el control de la corriente que circula se ha implementado un Amplificador Operacional que controle la corriente que circula por la célula en todo momento.

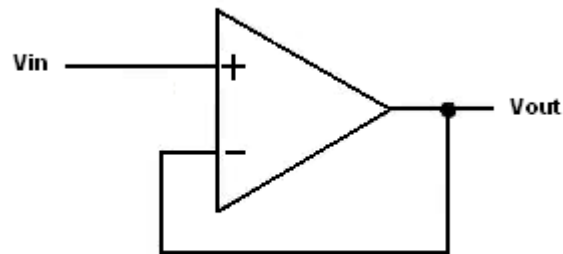


Figura 27: Seguidor de tensión

El amplificador utilizado es un OP491(ver anexo F).

La tensión  $V_{in}$  es la que viene de la tarjeta de adquisición de datos. A este amplificador se le ha hecho una pequeña modificación, y es que el lazo de realimentación no llega hasta  $V_{out}$ , sino que se conecta en el emisor de Q2, para que la corriente que circule por la célula esté controlada en todo momento.

El hecho de colocar un seguidor de emisor, elimina los efectos de carga entre etapas y, además, dirige la tensión hasta el punto deseado, que en este caso, se ha querido poner esa tensión en el emisor del circuito.

#### 4.4.2.4.- Elección y diseño del resto de componentes del circuito

Después de tener todas las especificaciones del circuito, hay que diseñar los componentes que estarán conectados en el emisor del circuito amplificador. En este caso solo hay que diseñar la resistencia que tendrá conectada el emisor.

Cuando se diseña un circuito hay que ver qué funcionalidad tendrá. Con transistores se pueden diseñar circuitos de dos tipos:

- circuitos de amplificación.
- circuitos de conmutación.

En los de amplificación el punto de trabajo Q, debe permanecer en la región activa, porque si no, la salida se ve distorsionada por los picos donde se produce la saturación y el corte.

Hay dos formas de establecer el punto de trabajo de un transistor y es mediante:

- polarización de base
- polarización de emisor

La polarización de base produce un valor constante de la corriente de base y la polarización de emisor produce un valor constante de la corriente de emisor.

En circuitos amplificadores se necesita que los puntos de trabajo Q sean inmunes a las variaciones de la ganancia en corriente, por eso se ha elegido la polarización de emisor.

Para hacer un circuito con polarización de emisor, la resistencia debe situarse en el emisor que es como se ha diseñado.

Como se quiere una relación de 1:1 entre la corriente y tensión dada en el emisor del transistor, se ha colocado una resistencia de potencia de  $1/5W$ , que será la que relacione la tensión y corriente por medio de la Ley de Ohm.

La célula Peltier va colocada en el colector del circuito alimentada por la pata positiva a +Vcc y su pata negativa al colector de Q2.

Tiene una resistencia interna de  $10\Omega$  a  $25^{\circ}C$ . La célula variará de temperatura pero su variación de Resistencia con la temperatura es muy pequeña y no se ha considerado.

#### **4.4.3.- Circuito amplificador completo:**

La etapa de amplificación, con todos los componentes queda de la siguiente forma:

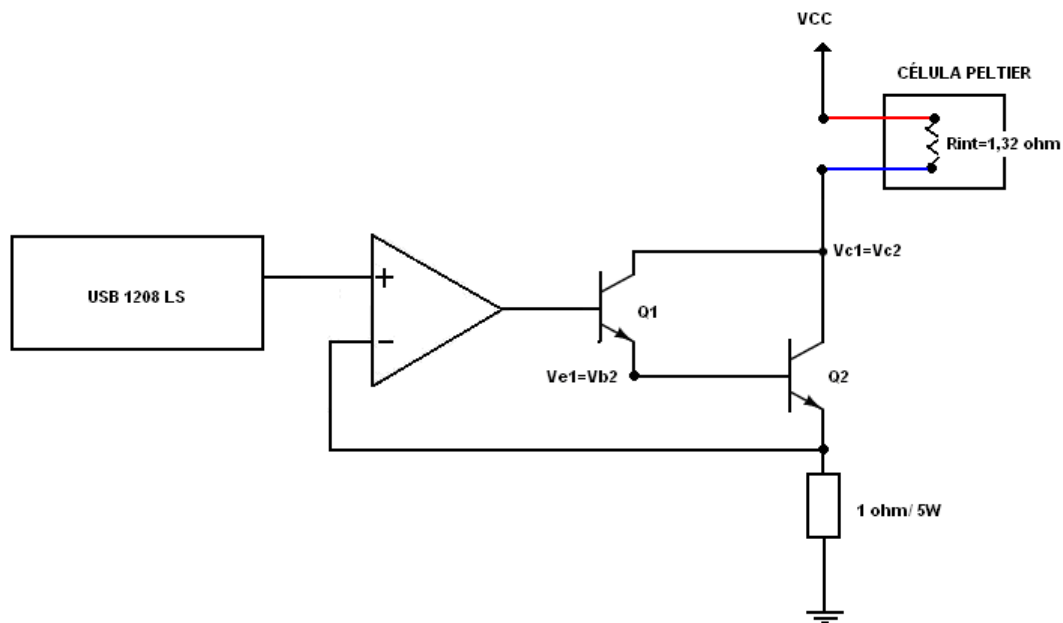


Figura 28: Etapa amplificadora completa

#### 4.4.4.- Funcionamiento del circuito

Si analizamos la salida del circuito, se tiene lo siguiente:

$$V_{cc} = R_{int} \cdot I_c + V_{ce} + V_e \quad (\text{ecuación 15})$$

Donde:

$$V_e = R \cdot I_e \quad (\text{ecuación 16})$$

$V_e$  es la tensión controlada que llega desde Labview. Esta tensión se traduce a corriente, como se ha dicho antes, por medio de la resistencia  $1\Omega/5W$ . Según esto, el circuito estará controlado por la corriente por lo que si llegan 0V a  $V_e$ , están entrando 0A y no circula ninguna corriente por la célula. Esto pasa porque:

$$I_c \approx I_e$$

Si le llegan 2V, están circulando 2A por el emisor, por lo que la célula estará alimentada a 2A, y así sucesivamente con las tensiones aplicadas y corrientes que circulen por la célula.

Como mucho el rango de salida de la tarjeta de adquisición es de 5V, aunque la salida en tensión está acotada entre 0 y 3V. Ver anexo C > Analog output

## 5.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 5.1.- Conclusiones

Este Proyecto Fin de Carrera se ha realizado para cumplir una serie de objetivos que se plantearon inicialmente.

- Se ha realizado un circuito de acondicionamiento de los sensores utilizados mediante Labview, con el cual se ha conseguido obtener a temperatura de rocío a la salida de Labview.
- Se ha implantado un sistema de adquisición de datos con Labview, utilizando una tarjeta USB conectada al ordenador y se han programado los instrumentos virtuales necesarios para realizar la adquisición, el tratamiento de los datos y la salida de estos por la tarjeta, teniendo un control total sobre las acciones que ha realizado el sistema.
- Se ha realizado un estudio mediante células Peltier, y se ha visto que son suficientes para enfriar la cara fría hasta el punto de rocío. Respecto a esto hay que apuntar, que el sistema de refrigeración que consta de un ventilador y un disipador, no ha sido suficiente para mantener la cara fría de la célula Peltier a la temperatura de rocío, sin embargo la célula si es capaz de ponerse a esa temperatura.
- Se ha diseñado un circuito de potencia, mediante un par Darlington y un seguidor de tensión, que ha funcionado satisfactoriamente amplificando corrientes de 30mA, consiguiendo a su salida corrientes de hasta 3A.
- Se ha diseñado un sistema de control capaz de controlar la temperatura de la cara fría de una célula Peltier intentando llevarla al punto de rocío. Por algún motivo no se ha conseguido que la célula llegue a la temperatura deseada. En los cálculos iniciales, el sistema debería haber tenido una diferencia de temperatura entre sus caras de 34,4°C. Esta diferencia de temperatura era suficiente para mantener la cara fría de la célula en el punto de rocío, sin embargo el sistema ha llegado a la mitad de la temperatura. Con esta diferencia de temperatura no ha sido posible poder enfriar la temperatura de rocío hasta una temperatura en la cual el agua contenida en el aire pudiera condensarse. Se han hecho múltiples pruebas para intentar bajar la temperatura. Entre ellas:
  1. Se ha puesto otro ventilador con un disipador en la cara caliente de la célula, intentando que mejore el flujo de aire en

la cara caliente y obligando a la célula a aumentar la diferencia de temperatura entre sus caras pero el ventilador se volvió a retirar, debido a que había un aumento de temperatura en la cara fría.

2. Se ha dado más tensión al ventilador forzando sus revoluciones para conseguir una mayor circulación de aire y así obtener mejor rendimiento de la célula.
3. Se ha diseñado el par Darlington, el cual, inicialmente no se había diseñado porque con un amplificador de potencia se conseguían corrientes suficientes de 2A. Con esta corriente la célula tendría que haber bajado por lo menos hasta 10°C sin embargo tampoco ha sido así.  
Con el par Darlington se ha conseguido mucha ganancia en corriente, ya que se han tenido corrientes de hasta 3A.
4. Se ha vuelto a pegar la célula cambiando el adhesivo epóxico por si se había puesto en mal estado.

Después de esta serie de pruebas, se decidió controlar la temperatura de la cara fría de la célula hasta la temperatura más baja conseguida, por lo que el sistema funciona perfectamente hasta una temperatura de unos 17°C. A partir de ahí no es capaz de bajar más temperatura. La máxima temperatura de la cara caliente han sido 31°C. Según esto la diferencia de temperaturas ha sido de 14°C

- Se ha diseñado un regulador, el cual se ha calculado teóricamente mediante ecuaciones, que debería haber funcionado correctamente si se hubiera podido llegar a la temperatura del punto de rocío. Este regulador al final no se ha utilizado en Labview, aunque los cálculos quedan reflejados en este Proyecto para futuras consultas o mejoras del sistema.
- Como conclusión final se puede decir, que la célula Peltier es un buen método refrigerante para pequeñas superficies, pero tiene el inconveniente de que para que funcione a temperaturas muy bajas, la ventilación debe realizarse por un ventilador que mueva bastantes metros cúbicos de aire, con el encarecimiento que esto supone. Además, el lugar físico donde refrigera debe estar aislado térmicamente para conseguir temperaturas por debajo de 17°C, ya que si no, el calor atmosférico o el calor de otros componentes como el disipador o el transistor cuando se calienta, afecta al funcionamiento del sistema.

## 5.2.- Trabajos futuros

Al finalizar este Proyecto Fin de Carrera se han dejado abiertas varias líneas de trabajo futuras, por lo que se podría seguir investigando en la utilización

de células de efecto Peltier para intentar condensar agua:

- Se podría intentar mejorar el sistema de refrigeración de la célula con un ventilador más potente o intentar obtener mejor rendimiento cambiando el tipo de célula Peltier.
- Se podría aislar la célula en un espacio cerrado, para conseguir disminuir su temperatura sin que le afecte directamente el calor atmosférico.
- Se podrían emplear otros métodos para la condensación que no pasaran por células de efecto Peltier, ya que existen gases refrigerantes que al hacerlos circular por un serpentín gracias a un compresor, producen condensación.

Lo importante es buscar métodos de producción de agua en los que, partiendo de sistemas pequeños, se intente ir haciendo un sistema mas grande con más rendimiento y cantidad de producción de agua.

## 6.- DOCUMENTACIÓN Y BIBLIOGRAFÍA

### 6.1.- Proyectos

- 1.- Proyecto Fin de Carrera de Javier Ignacio Collados Alfaro: "Control de temperatura en un volumen cerrado de aire mediante células de efecto Peltier".
- 2.- Proyecto Fin de Carrera de José Manuel Fresno de Marcos: "Instrumento virtual para la medida de descargas parciales".

### 6.2.- Libros

- 3.- Principios de electrónica: Albert Paul Malvino, sexta edición año 2000 ed: McGraw-Hill
- 4.- Sistemas de Control Automático: Benjamin C. Kuo, séptima edición año 1996 ed: Prentice Hall
- 5.- Teoría de Control: diseño electrónico. Escrito por: Spartacus Gomáriz Castro, Domingo Biel Solé. José Matas Alcalá, Miguel Reyes Moreno. Editorial Alfaomega.

### 6.3.- Páginas o documentos electrónicos en la web

- 5.- <http://www.inq.unp.edu.ar/electronica/asignaturas/ee016/apuntes/07/07.htm>
- 6- [http://rabfis15.uco.es/transistoresweb/Tutorial\\_General/curvascaracteristicas.html](http://rabfis15.uco.es/transistoresweb/Tutorial_General/curvascaracteristicas.html)
- 7- <http://usuarios.multimania.es/automatica/temas/tema2/pags/FdT/FdT.htm>
- 8- <http://www.paranauticos.com/notas/meteorologia/punto-de-rocio.htm>
- 9- <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0201-04/ed99-0201-04.html>
- 10- <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r71522.PDF>
- 11- <http://www.elai.upm.es:8009/spain/Asignaturas/Servos/practicas/prac6%20mol%20peltier.pdf>
- 12- <http://isa.uniovi.es/docencia/raeutig/tema6.pdf>



## 7.- ANEXOS

### ANEXO A: Datasheet del sensor de Temperatura LM35



November 2000

## LM35

### Precision Centigrade Temperature Sensors

#### General Description

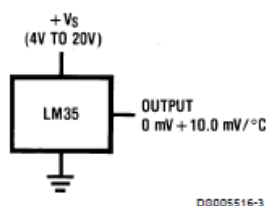
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^\circ\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\text{ }\mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^\circ$  to  $+110^\circ\text{C}$  range ( $-10^\circ$  with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

#### Features

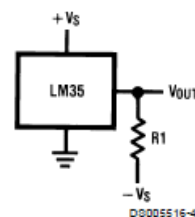
- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear  $+10.0\text{ mV}/^\circ\text{C}$  scale factor
- $0.5^\circ\text{C}$  accuracy guaranteeable (at  $+25^\circ\text{C}$ )
- Rated for full  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\text{ }\mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^\circ\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\text{ }\Omega$  for  $1\text{ mA}$  load

#### Typical Applications



D0005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor  
( $+2^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$ )



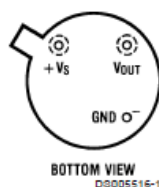
D0005516-4

Choose  $R_1 = -V_S/50\text{ }\mu\text{A}$   
 $V_{OUT} = +1,500\text{ mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\text{ mV}$  at  $+25^\circ\text{C}$   
 $= -550\text{ mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

## Connection Diagrams

**TO-46**  
Metal Can Package\*

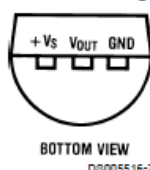


\*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH

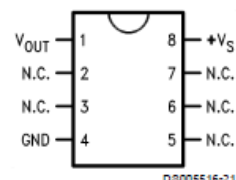
See NS Package Number H03H

**TO-92**  
Plastic Package



Order Number LM35CZ,  
LM35CAZ or LM35DZ  
See NS Package Number Z03A

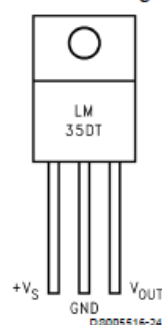
**SO-8**  
Small Outline Molded Package



N.C. = No Connection

Top View  
Order Number LM35DM  
See NS Package Number M08A

**TO-220**  
Plastic Package\*



\*Tab is connected to the negative pin (GND).

**Note:** The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

## Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.;	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$	
(Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

**Electrical Characteristics**

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.5$			$\pm 0.5$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.8$	$\pm 1.5$		$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$\pm 0.8$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				$\pm 0.6$	$\pm 1.5$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				$\pm 0.9$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				$\pm 0.9$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.3$		$\pm 0.5$	$\pm 0.2$		$\pm 0.5$	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+10.0$	$+9.8,$ $+10.2$		$+10.0$		$+9.8,$ $+10.2$	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 2.0$		$\pm 0.4$	$\pm 2.0$		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.5$		$\pm 5.0$	$\pm 0.5$		$\pm 5.0$	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		$\mu\text{A}$
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	$\mu\text{A}$
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		$\mu\text{A}$
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		$\mu\text{A}$
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.7$	$+0.39$		$+0.7$	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	$+1.5$		$+2.0$	$+1.5$		$+2.0$	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			$^\circ\text{C}$

**Note 1:** Unless otherwise noted, these specifications apply:  $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$  for the LM35 and LM35A;  $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$  for the LM35C and LM35CA; and  $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$  for the LM35D.  $V_S = +5\text{Vdc}$  and  $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$ , in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from  $+2^\circ\text{C}$  to  $T_{\text{MAX}}$  in the circuit of *Figure 1*. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

**Note 2:** Thermal resistance of the TO-48 package is  $400^\circ\text{C}/\text{W}$ , junction to ambient, and  $24^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is  $180^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is  $220^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is  $90^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

**Note 3:** Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

**Note 4:** Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

**Note 5:** Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

**Note 6:** Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

**Note 7:** Accuracy is defined as the error between the output voltage and  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in  $^\circ\text{C}$ ).

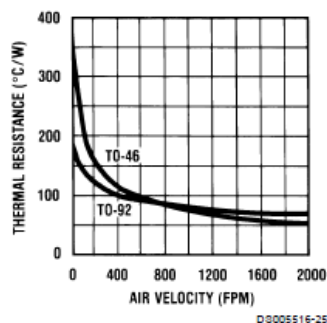
**Note 8:** Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

**Note 9:** Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

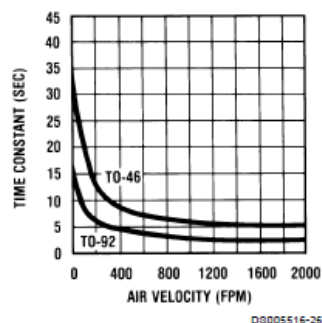
**Note 10:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

## Typical Performance Characteristics

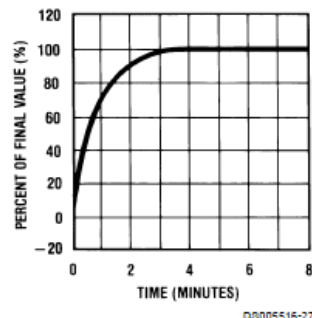
Thermal Resistance  
Junction to Air



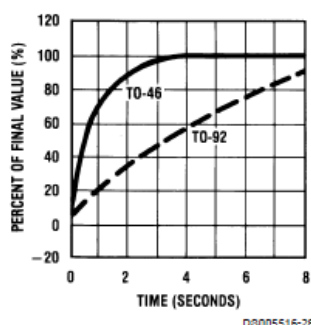
Thermal Time Constant



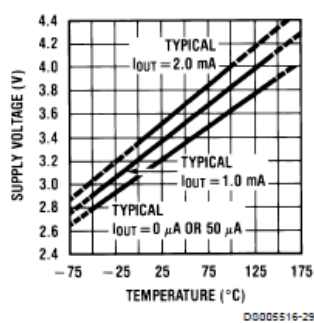
Thermal Response  
in Still Air



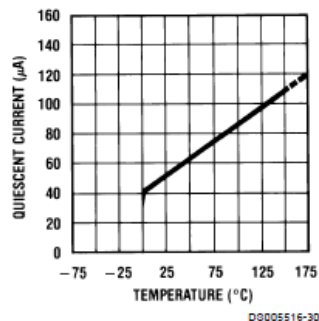
Thermal Response in  
Stirred Oil Bath



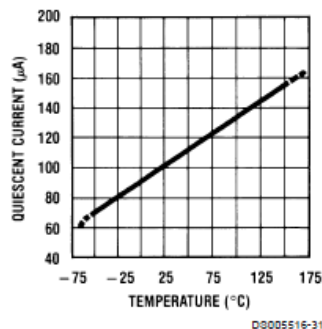
Minimum Supply  
Voltage vs. Temperature



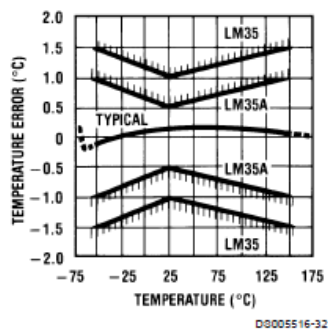
Quiescent Current  
vs. Temperature  
(In Circuit of Figure 1.)



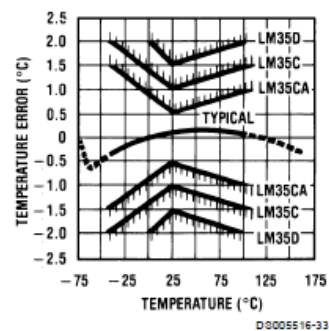
Quiescent Current  
vs. Temperature  
(In Circuit of Figure 2.)

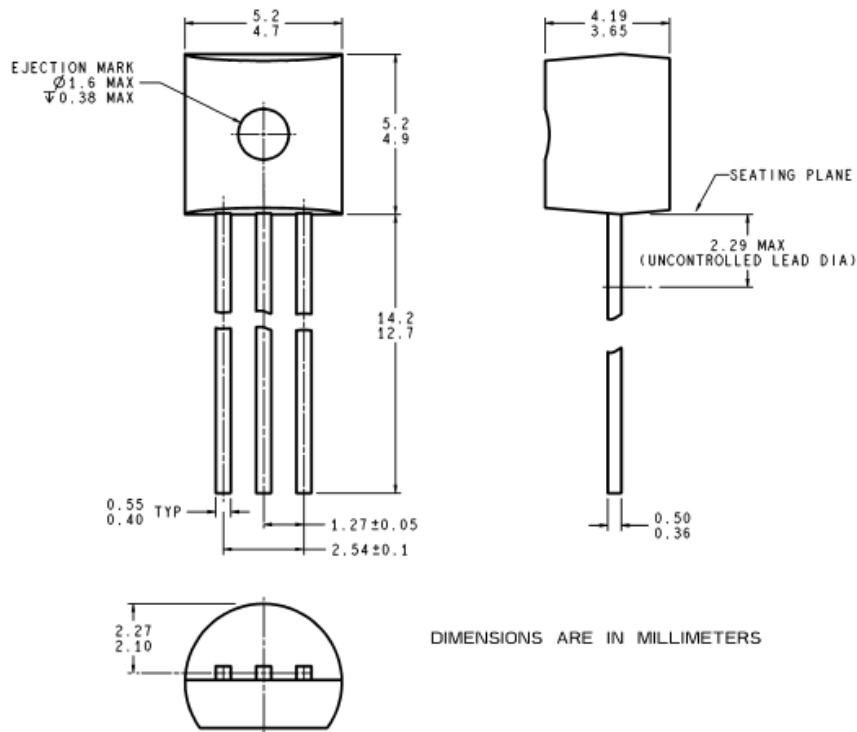


Accuracy vs. Temperature  
(Guaranteed)



Accuracy vs. Temperature  
(Guaranteed)



**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

203A (Rev G)

TO-92 Plastic Package (Z)  
 Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ  
 NS Package Number Z03A

**ANEXO B: Datasheet del sensor de Humedad relativa HIH4000****Honeywell**

# HIH-4000 Series

## Humidity Sensors



The HIH-4000 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users. Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's linear voltage output. With a typical current draw of only 200  $\mu$ A, the HIH-4000 Series is often ideally suited for low drain, battery operated systems. Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

The HIH-4000 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a competitively priced, solderable SIP (Single In-line Package). Available in two lead spacing configurations, the RH sensor is a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning. The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as wetting, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

**TABLE 1. PERFORMANCE SPECIFICATIONS (At 5 Vdc supply and 25 °C [77 °F] unless otherwise noted.)**  
 (%RH performance specifications include test system measurement errors ( $\pm 0.5$  % typical.)

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Interchangeability (best fit straight line)	—	—	—	—
0 % to 60 %	-5	—	5	%RH
60 % to 100 %	-8	—	8	%RH
Interchangeability (2nd order curve)	—	$\pm 3.5$	—	%RH
Accuracy <sup>1</sup> (best fit straight line)	—	$\pm 3.5$	—	%RH
Accuracy (2nd order curve)	—	$\pm 2.5$	—	%RH
Hysteresis	—	3	—	%RH
Repeatability	—	$\pm 0.5$	—	%RH
Settling time	—	—	70	ms
Response time (1/e in slow moving air)	—	15	—	s
Stability <sup>2</sup> (@ 50 %RH)	—	$\pm 1.2$ (per year)	—	%RH
Stability <sup>3</sup> (@ 50 %RH)	—	$\pm 0.5$ (per year)	—	%RH
Voltage supply	4	—	5.8	Vdc
Current supply	—	—	500	$\mu$ A
Voltage output (1 <sup>st</sup> order fit)	$V_{out} = V_{supply} (0.0062(\text{sensor RH}) + 0.16)$			
Voltage output (2nd order curve fit)	$V_{out} = 0.00003(\text{sensor RH})^2 + 0.0281(\text{sensor RH}) + 0.820$ , typical @ 25 °C			
Temperature compensation	$V_{out} = (0.0305 + 0.000044T - 0.0000011T^2)(\text{Sensor RH}) + (0.9237 - 0.0041T + 0.000040T^2)$ , T=Temperature in °C			
Operating temperature	-40[-40]	See Figure 1.	85[185]	°C[°F]
Operating humidity	0	See Figure 2.	100	%RH
Storage temperature	-40[-40]	—	125[257]	°C[°F]
Storage humidity	See Figure 2.			%RH

**Notes:**

1. For HIH-4000-003 and -004 only.
2. Specification includes testing outside of recommended operating zone.
3. Specification includes testing for recommended operating zone only.



**NOTICE**

- Do not expose sensor to condensing environments. Exposure to condensing environments will cause sensor output to indicate 0 %RH.
- Sensor is light sensitive. For best performance, shield sensor from bright light.
- Sensor is static sensitive. Sensor connection protected to 15 kV maximum.
- Sensor output is ratiometric to supply voltage.

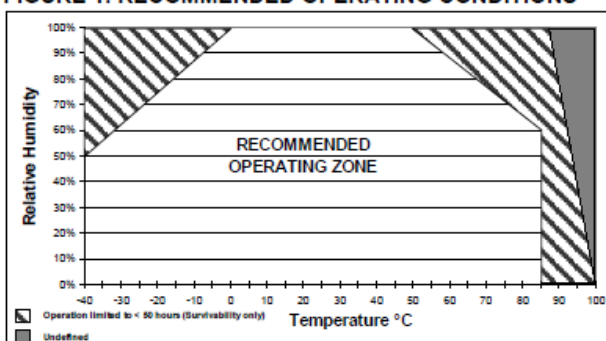
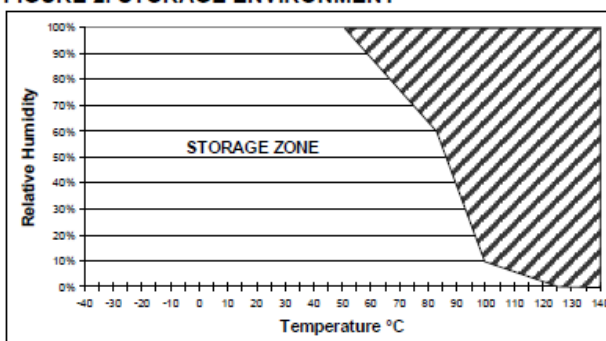
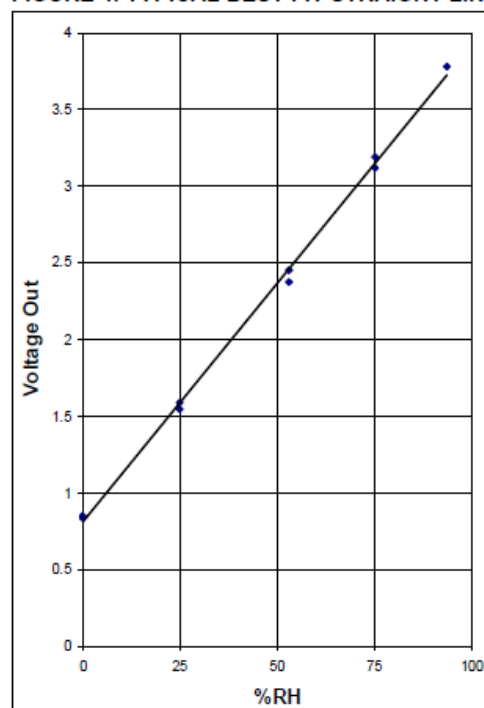
**Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.**

**FACTORY CALIBRATION DATA**

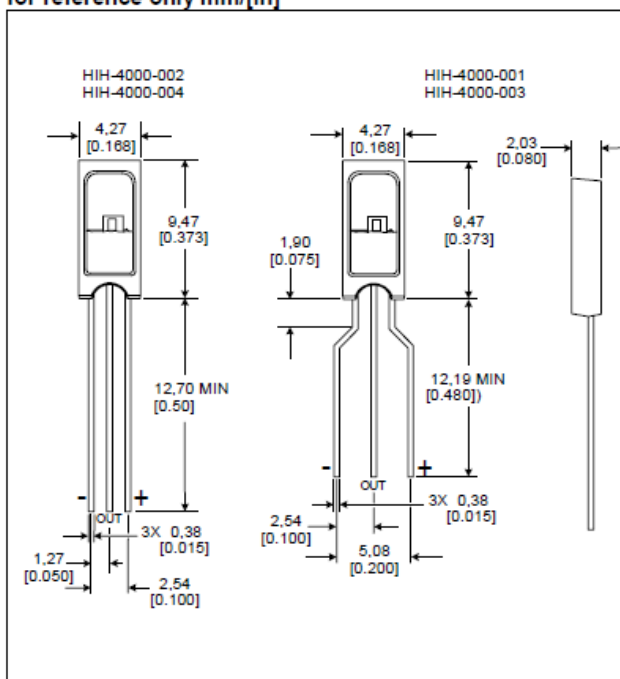
HIH-4000 Sensors may be ordered with a calibration and data printout (Table 2). See order guide on back page.

**TABLE 2. EXAMPLE DATA PRINTOUT**

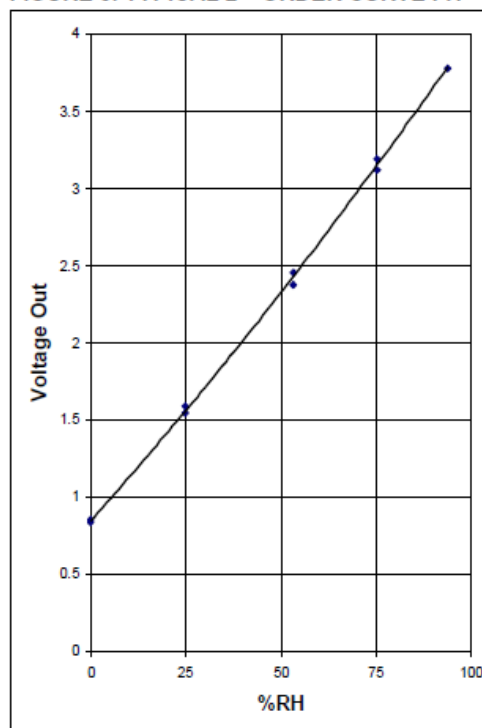
<b>Model</b>	<b>HIH-4000-001</b>
<b>Channel</b>	92
<b>Wafer</b>	030996M
<b>MRP</b>	337313
Calculated values at 5 V V <sub>out</sub> @ 0 %RH V <sub>out</sub> @ 75.3 %RH	0.958 V 3.268 V
Linear output for 2 %RH accuracy @ 25 °C Zero offset Slope RH	0.958 V 30.680 mV/%RH (V <sub>out</sub> -zero offset)/slope (V <sub>out</sub> -0.958)/0.0307
Ratiometric response for 0 % to 100 %RH V <sub>out</sub>	V <sub>supply</sub> (0.1915 to 0.8130)

**FIGURE 1. RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS****FIGURE 2. STORAGE ENVIRONMENT****FIGURE 4. TYPICAL BEST FIT STRAIGHT LINE**

**FIGURE 3. MOUNTING DIMENSIONS**  
for reference only mm/[in]



**FIGURE 5. TYPICAL 2<sup>nd</sup> ORDER CURVE FIT**





**ANEXO C: Datasheet de la tarjeta de adquisición de datos USB 1208LS****Specifications**

Typical for 25°C unless otherwise specified.

Specifications in *italic text* are guaranteed by design.

**Analog input**

Parameter	Conditions	Specification
A/D converter type		Successive approximation type
Input voltage range for linear operation, single-ended mode	CHx to GND	$\pm 10$ V max
Input common-mode voltage range for linear operation, differential mode	CHx to GND	-10 V min, +20 V max
<i>Absolute maximum input voltage</i>	<i>CHx to GND</i>	$\pm 40$ V max
Input current (Note 1)	Vin = +10 V	70 $\mu$ A typ
	Vin = 0V	-12 $\mu$ A typ
	Vin = -10 V	-94 $\mu$ A typ
<i>Input impedance</i>		122K Ohms
Number of channels		8 single ended / 4 differential, software selectable
Input ranges, single-ended mode		$\pm 10$ V, G=2
Input ranges, differential mode		$\pm 20$ V, G=1
		$\pm 10$ V, G=2
		$\pm 5$ V, G=4
		$\pm 4$ V, G=5
		$\pm 2.5$ V, G=8
		$\pm 2.0$ V, G=10
		$\pm 1.25$ V, G=16
		$\pm 1.0$ V, G=20
		Software selectable
Throughput	Software paced	50 S/s
	Continuous scan	1.2 kS/s
	Burst scan to 4 K sample FIFO	8 kS/s
Channel gain queue	Up to 8 elements	Software configurable channel, range, and gain.
Resolution (Note 2)	Differential	12 bits, no missing codes
	Single ended	11 bits
CAL accuracy	CAL = 2.5V	$\pm 0.05\%$ typ, $\pm 0.25\%$ max
Integral linearity error		$\pm 1$ LSB typ
Differential linearity error		$\pm 0.5$ LSB typ
Repeatability		$\pm 1$ LSB typ
CAL current	Source	5 mA max
	Sink	20 $\mu$ A min, 200 nA typ
Trigger Source	Software selectable	External digital: TRIG_IN

**Note 1:** Input current is a function of applied voltage on the analog input channels. For a given input voltage, Vin, the input leakage is approximately equal to  $(8.181 \cdot V_{in} - 12) \mu$ A.

**Note 2:** The AD7870 converter only returns 11-bits (0-2047 codes) in single-ended mode.

## Analog output

Parameter	Conditions	Specification
D/A converter type		PWM
Resolution		10-bits, 1 in 1024
Maximum output range		0 - 5 Volts
Number of channels		2 voltage output
Throughput	Software paced	100 S/s single channel mode 50 S/s dual channel mode
Power on and reset voltage		Initializes to 000h code
Maximum voltage (Note 3)	No load	Vs
	1 mA load	0.99 * Vs
	5 mA load	0.98 * Vs
Output drive	Each D/A OUT	30 mA
Slew rate		0.14 V/mS typ

**Note 3:** Vs is the USB bus +5V power. The maximum analog output voltage is equal to Vs at no-load. V is system dependent and may be less than 5 volts.

## 4-channel differential mode

Pin	Signal Name	Pin	Signal Name
1	CH0 IN HI	21	Port A0
2	CH0 IN LO	22	Port A1
3	GND	23	Port A2
4	CH1 IN HI	24	Port A3
5	CH1 IN LO	25	Port A4
6	GND	26	Port A5
7	CH2 IN HI	27	Port A6
8	CH2 IN LO	28	Port A7
9	GND	29	GND
10	CH3 IN HI	30	PC+5V
11	CH3 IN LO	31	GND
12	GND	32	Port B0
13	D/A OUT 0	33	Port B1
14	D/A OUT 1	34	Port B2
15	GND	35	Port B3
16	CAL	36	Port B4
17	GND	37	Port B5
18	TRIG_IN	38	Port B6
19	GND	39	Port B7
20	CTR	40	GND

## 8-channel single-ended mode

Pin	Signal Name	Pin	Signal Name
1	CH0 IN	21	Port A0
2	CH1 IN	22	Port A1
3	GND	23	Port A2
4	CH2 IN	24	Port A3
5	CH3 IN	25	Port A4
6	GND	26	Port A5
7	CH4 IN	27	Port A6
8	CH5 IN	28	Port A7
9	GND	29	GND
10	CH6 IN	30	PC+5V
11	CH7 IN	31	GND
12	GND	32	Port B0
13	D/A OUT 0	33	Port B1
14	D/A OUT 1	34	Port B2
15	GND	35	Port B3
16	CAL	36	Port B4
17	GND	37	Port B5
18	TRIG_IN	38	Port B6
19	GND	39	Port B7
20	CTR	40	GND

**ANEXO D: Datasheet del Amplificador de Potencia 2N3055****MOTOROLA**  
**SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA**Order this document  
by 2N3055/D**Complementary Silicon Power Transistors**

... designed for general-purpose switching and amplifier applications.

- DC Current Gain —  $h_{FE} = 20-70$  @  $I_C = 4$  Adc
- Collector-Emitter Saturation Voltage —  
 $V_{CE(sat)} = 1.1$  Vdc (Max) @  $I_C = 4$  Adc
- Excellent Safe Operating Area

**MAXIMUM RATINGS**

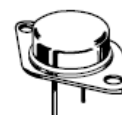
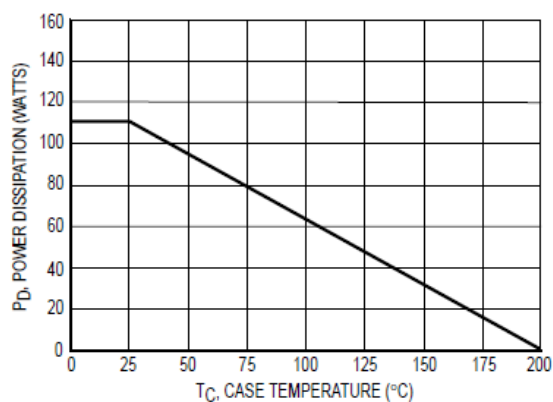
Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	Vdc
Collector-Emitter Voltage	$V_{CER}$	70	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CB}$	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EB}$	7	Vdc
Collector Current — Continuous	$I_C$	15	Adc
Base Current	$I_B$	7	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	115 0.657	Watts W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

**THERMAL CHARACTERISTICS**

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.52	$^\circ\text{C/W}$

**NPN**  
**2N3055\***  
**PNP**  
**MJ2955\***

\*Motorola Preferred Device

**15 AMPERE**  
**POWER TRANSISTORS**  
**COMPLEMENTARY**  
**SILICON**  
**60 VOLTS**  
**115 WATTS****CASE 1-07**  
**TO-204AA**  
**(TO-3)****Figure 1. Power Derating**

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>*OFF CHARACTERISTICS</b>				
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ( $I_C = 200\text{ mA}$ , $I_B = 0$ )	$V_{CEO(sus)}$	60	—	Vdc
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ( $I_C = 200\text{ mA}$ , $R_{BE} = 100\text{ Ohms}$ )	$V_{CER(sus)}$	70	—	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ Vdc}$ , $I_B = 0$ )	$I_{CEO}$	—	0.7	mA
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 100\text{ Vdc}$ , $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$ ) ( $V_{CE} = 100\text{ Vdc}$ , $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$ , $T_C = 150^\circ\text{C}$ )	$I_{CEX}$	—	1.0 5.0	mA
Emitter Cutoff Current ( $V_{BE} = 7.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ )	$I_{EBO}$	—	5.0	mA
<b>*ON CHARACTERISTICS (1)</b>				
DC Current Gain ( $I_C = 4.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ A}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ )	$h_{FE}$	20 5.0	70 —	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 4.0\text{ A}$ , $I_B = 400\text{ mA}$ ) ( $I_C = 10\text{ A}$ , $I_B = 3.3\text{ A}$ )	$V_{CE(sat)}$	—	1.1 3.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ( $I_C = 4.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ )	$V_{BE(on)}$	—	1.5	Vdc

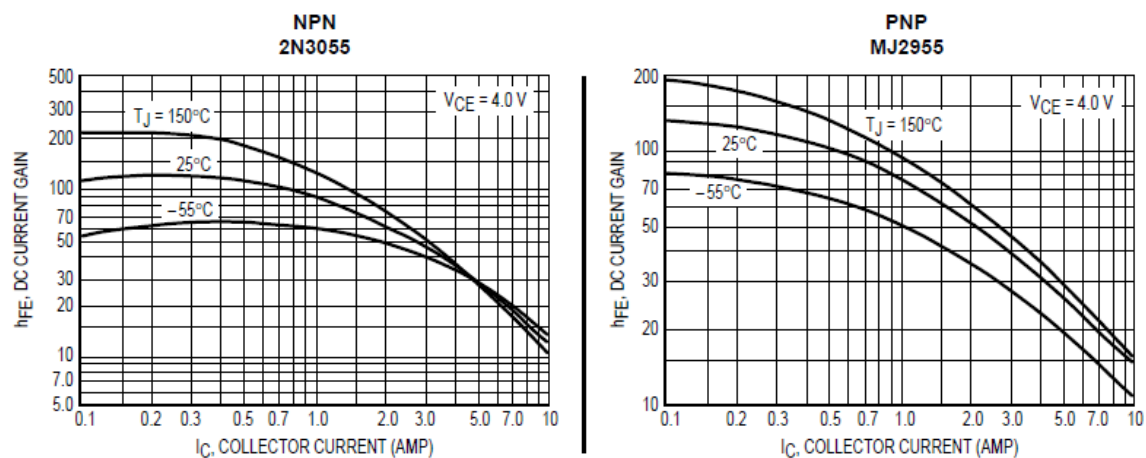


Figure 3. DC Current Gain

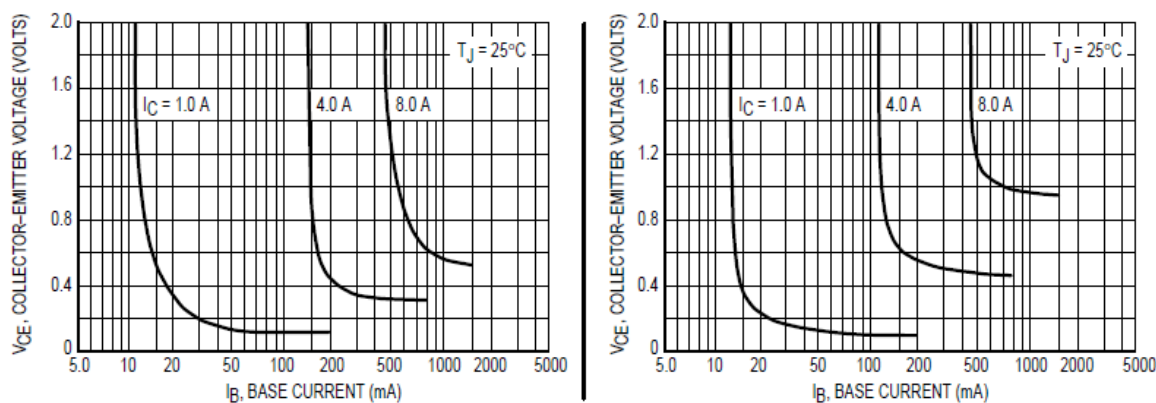
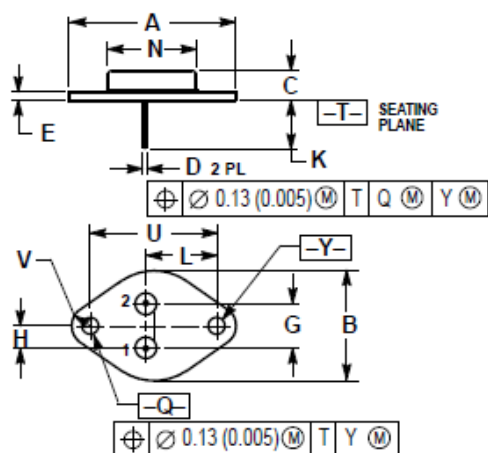


Figure 4. Collector Saturation Region



## NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. ALL RULES AND NOTES ASSOCIATED WITH REFERENCED TO-204AA OUTLINE SHALL APPLY.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.550 REF		39.37 REF	
B	—	1.050	—	26.67
C	0.250	0.335	6.35	8.51
D	0.038	0.043	0.97	1.09
E	0.065	0.070	1.40	1.77
G	0.430 BSC		10.92 BSC	
H	0.215 BSC		5.46 BSC	
K	0.440	0.480	11.18	12.19
L	0.665 BSC		16.89 BSC	
N	—	0.830	—	21.08
Q	0.151	0.165	3.84	4.19
U	1.187 BSC		30.15 BSC	
V	0.131	0.188	3.33	4.77

## STYLE 1:

- PIN 1. BASE
- EMITTER
- CASE: COLLECTOR

## ANEXO E: Datasheet del Amplificador de Potencia 2N3716



## SILICON NPN POWER TRANSISTORS

... designed for medium-speed switching and amplifier applications

## FEATURES

- \* Gain Ranged Specified at 1A and 3A.
- \* Low  $V_{CE(sat)}$ : typically 0.5 V @  $I_C=5$  A,  $I_B=0.5$  A
- \* Excellent Safe Operating Areas
- \* Complementary PNP Types Available 2N3789 thru 2N3792

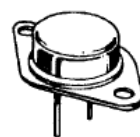
**NPN  
2N3713  
Thru  
2N3716**

**10 AMPERE  
POWER TRANSISTORS**

## MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	2N3713 2N3715	2N3714 2N3716	Unit
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	80	100	V
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	80	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	7		V
Collector Current - Continuous	$I_C$	10		A
Base Current-Continuous	$I_B$	4		A
Total Power Dissipation @ $T_C=25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	150 0.857		W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{STG}$	-65 to +200		$^\circ\text{C}$

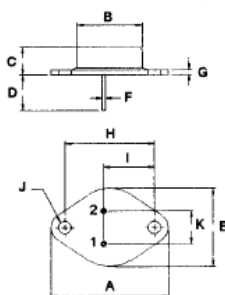
**NPN SILICON  
60-80 VOLTS  
150 WATTS**



TO-3

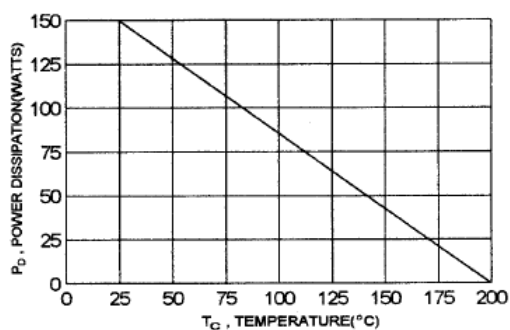
## THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	1.17	$^\circ\text{C/W}$



PIN 1. BASE  
2. EMITTER  
COLLECTOR (CASE)

FIGURE -1 POWER DERATING



DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	38.75	39.96
B	19.28	22.23
C	7.96	9.28
D	11.18	12.19
E	25.20	26.67
F	0.92	1.09
G	1.38	1.62
H	29.90	30.40
I	16.64	17.30
J	3.88	4.36
K	10.67	11.18

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (  $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted )

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

**OFF CHARACTERISTICS**

Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ( $I_C = 200\text{ mA}$ , $I_B = 0$ )	2N3713, 2N3715 2N3714, 2N3716	$V_{CEO(sus)}$	60 80	V
Collector -Emitter Cutoff Current ( $V_{CE} = 80\text{ V}$ , $V_{BE(off)} = -1.5\text{ V}$ ) ( $V_{CE} = 100\text{ V}$ , $V_{BE(off)} = -1.5\text{ V}$ ) ( $V_{CE} = 60\text{ V}$ , $V_{BE(off)} = -1.5\text{ V}$ , $T_C = 150^\circ\text{C}$ ) ( $V_{CE} = 80\text{ V}$ , $V_{BE(off)} = -1.5\text{ V}$ , $T_C = 150^\circ\text{C}$ )	2N3713, 2N3715 2N3714, 2N3716 2N3713, 2N3715 2N3714, 2N3716	$I_{CEX}$	1.0 1.0 10 10	mA
Emitter Cutoff Current ( $V_{EB} = 7.0\text{ V}$ , $I_C = 0$ )	All Types	$I_{EBO}$	5.0	mA

**ON CHARACTERISTICS (1)**

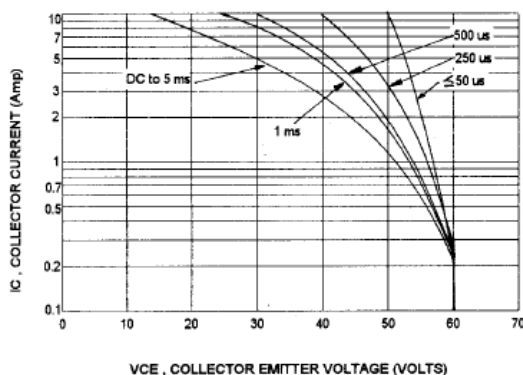
DC Current Gain ( $I_C = 1.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ ) ( $I_C = 3.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ )	2N3713, 2N3714 2N3715, 2N3716 2N3713, 2N3714 2N3715, 2N3716	$h_{FE}$	25 50 15 30	90 180	
Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 5.0\text{ A}$ , $I_B = 0.5\text{ A}$ )	2N3713, 2N3714 2N3715, 2N3716	$V_{CE(sat)}$		1.0 0.8	V
Base-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 5.0\text{ A}$ , $I_B = 0.5\text{ A}$ )	2N3713, 2N3714 2N3715, 2N3716	$V_{BE(sat)}$		2.0 1.5	V
Base-Emitter On Voltage ( $I_C = 3.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 2.0\text{ V}$ )	All Types	$V_{BE(on)}$		1.5	V

**DYNAMIC CHARACTERISTICS**

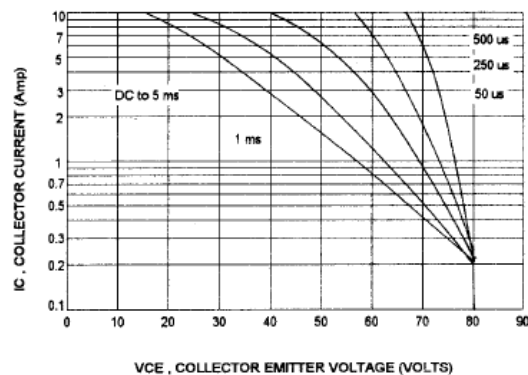
Current-Gain Bandwidth Product ( $I_C = 500\text{ mA}$ , $V_{CE} = 10\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ )	$f_T$	4.0		MHz
---	-------	-----	--	-----

(1) Pulse Test: Pulse width = 300  $\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ (2)  $f_T = |h_{fe}| \cdot f_{test}$ **2N3713,2N3715**

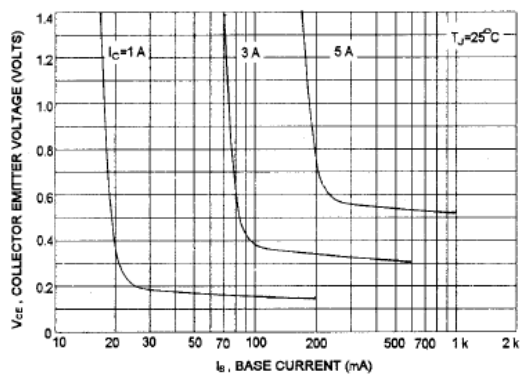
ACTIVE REGION SAFE OPERATING AREA

**2N3714,2N3716**

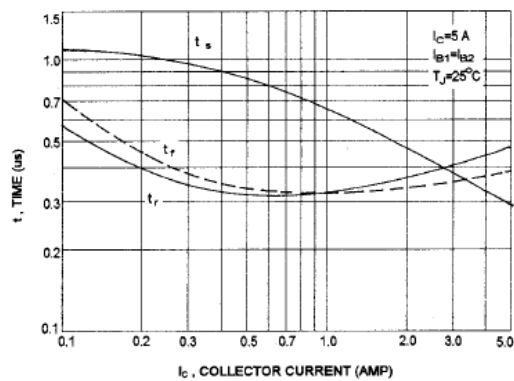
ACTIVE REGION SAFE OPERATING AREA



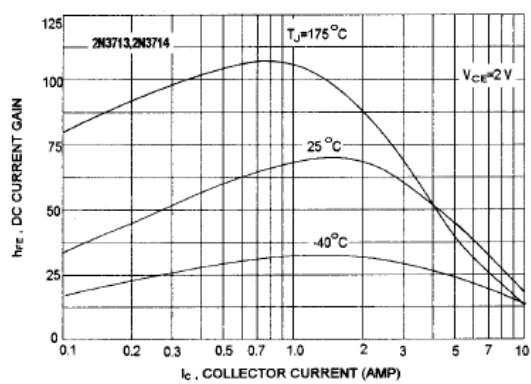
COLLECTOR SATURATION REGION



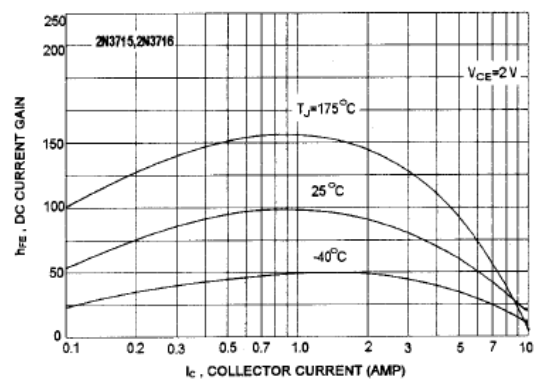
TYPICAL SWITCHING TIME



DC CURRENT GAIN



DC CURRENT GAIN





**ANEXO F: Datasheet del Amplificador Operacional OP491**

# Micropower Single-Supply Rail-to-Rail Input/Output Op Amps

## OP191/OP291/OP491

**FEATURES**

Single-supply operation: 2.7 V to 12 V

Wide input voltage range

Rail-to-rail output swing

Low supply current: 300  $\mu$ A/amp

Wide bandwidth: 3 MHz

Slew rate: 0.5 V/ $\mu$ sLow offset voltage: 700  $\mu$ V

No phase reversal

**APPLICATIONS**

Industrial process control

Battery-powered instrumentation

Power supply control and protection

Telecommunications

Remote sensors

Low voltage strain gage amplifiers

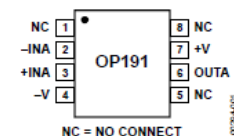
**PIN CONFIGURATIONS**

Figure 1. 8-Lead Narrow-Body SOIC

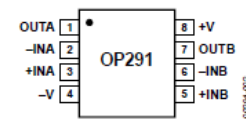


Figure 2. 8-Lead Narrow-Body SOIC

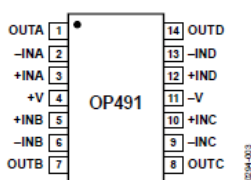


Figure 3. 14-Lead Narrow-Body SOIC

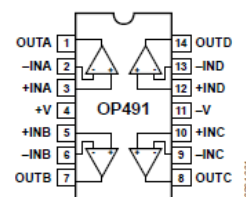


Figure 4. 14-Lead PDIP

**SPECIFICATIONS****ELECTRICAL SPECIFICATIONS**@  $V_S = 3.0$  V,  $V_{CM} = 0.1$  V,  $V_O = 1.4$  V,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT CHARACTERISTICS</b>						
Offset Voltage	$V_{OS}$			80	500	$\mu$ V
OP191G		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$			1	mV
OP291G/OP491G	$V_{OS}$	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		80	700	$\mu$ V
Input Bias Current	$I_B$	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		30	65	nA
Input Offset Current	$I_{OS}$	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		0.1	11	nA
Input Voltage Range		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	0		3	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = 0$ V to 2.9 V	70	90		dB
		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	65	87		dB
Large Signal Voltage Gain	$A_{VO}$	$R_L = 10$ k $\Omega$ , $V_O = 0.3$ V to 2.7 V	25	70		V/mV
		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		50		V/mV
Offset Voltage Drift	$\Delta V_{OS}/\Delta T$			1.1		$\mu$ V/ $^\circ\text{C}$
Bias Current Drift	$\Delta I_B/\Delta T$			100		pA/ $^\circ\text{C}$
Offset Current Drift	$\Delta I_{OS}/\Delta T$			20		pA/ $^\circ\text{C}$

OUTPUT CHARACTERISTICS					
Output Voltage High	$V_{OH}$	$R_L = 100\text{ k}\Omega$ to GND $-40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	2.95 2.90	2.99 2.98	V V
		$R_L = 2\text{ k}\Omega$ to GND $-40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	2.8 2.70	2.9 2.80	V V
Output Voltage Low	$V_{OL}$	$R_L = 100\text{ k}\Omega$ to $V_+$ $-40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$		4.5 35	10 mV mV
		$R_L = 2\text{ k}\Omega$ to $V_+$ $-40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$		40 130	75 mV mV
Short-Circuit Limit	$I_{SC}$	Sink/source $-40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	$\pm 8.75$ $\pm 6.0$	$\pm 13.50$ $\pm 10.5$	mA mA
Open-Loop Impedance	$Z_{OUT}$	$f = 1\text{ MHz}$ , $A_v = 1$		200	$\Omega$
POWER SUPPLY					
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = 2.7\text{ V}$ to $12\text{ V}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	80 75	110 110	dB dB
Supply Current/Amplifier	$I_{SY}$	$V_O = 0\text{ V}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		200 330	350 $\mu\text{A}$ 480 $\mu\text{A}$
DYNAMIC PERFORMANCE					
Slew Rate	+SR	$R_L = 10\text{ k}\Omega$		0.4	V/ $\mu\text{s}$
Slew Rate	-SR	$R_L = 10\text{ k}\Omega$		0.4	V/ $\mu\text{s}$
Full-Power Bandwidth	$BW_P$	1% distortion		1.2	kHz
Settling Time	$t_s$	To 0.01%		22	$\mu\text{s}$
Gain Bandwidth Product	GBP			3	MHz
Phase Margin	$\theta_o$			45	Degrees
Channel Separation	CS	$f = 1\text{ kHz}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$		145	dB
NOISE PERFORMANCE					
Voltage Noise	$e_n\text{ p-p}$	0.1 Hz to 10 Hz		2	$\mu\text{V p-p}$
Voltage Noise Density	$e_n$	$f = 1\text{ kHz}$		30	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Current Noise Density	$i_n$			0.8	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$

## OP191/OP291/OP491

@  $V_S = 5.0\text{ V}$ ,  $V_{CM} = 0.1\text{ V}$ ,  $V_O = 1.4\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted. +5 V specifications are guaranteed by +3 V and  $\pm 5\text{ V}$  testing.

Table 2.

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
Offset Voltage						
OP191	$V_{OS}$	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		80	500	$\mu\text{V}$
					1.0	mV
OP291/OP491	$V_{OS}$	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		80	700	$\mu\text{V}$
					1.25	mV
Input Bias Current	$I_B$	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		30	65	nA
					95	nA
Input Offset Current	$I_{OS}$	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		0.1	11	nA
					22	nA
Input Voltage Range			0		5	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = 0\text{ V}$ to $4.9\text{ V}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	70 65	93 90		dB dB
Large Signal Voltage Gain	$A_{VO}$	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ , $V_O = 0.3\text{ V}$ to $4.7\text{ V}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	25	70 50		V/mV V/mV
Offset Voltage Drift	$\Delta V_{OS}/\Delta T$	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		1.1		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Bias Current Drift	$\Delta I_B/\Delta T$			100		pA/ $^\circ\text{C}$
Offset Current Drift	$\Delta I_{OS}/\Delta T$			20		pA/ $^\circ\text{C}$

<b>OUTPUT CHARACTERISTICS</b>					
Output Voltage High	$V_{OH}$	$R_L = 100\text{ k}\Omega$ to GND –40°C to +125°C	4.95 4.90	4.99 4.98	V V
		$R_L = 2\text{ k}\Omega$ to GND –40°C to +125°C	4.8 4.65	4.85 4.75	V V
Output Voltage Low	$V_{OL}$	$R_L = 100\text{ k}\Omega$ to $V_+$ –40°C to +125°C		4.5 35	mV mV
		$R_L = 2\text{ k}\Omega$ to $V_+$ –40°C to +125°C		40 155	mV mV
Short-Circuit Limit	$I_{SC}$	Sink/source –40°C to +125°C	$\pm 8.75$ $\pm 6.0$	$\pm 13.5$ $\pm 10.5$	mA mA
Open-Loop Impedance	$Z_{OUT}$	$f = 1\text{ MHz}$ , $A_V = 1$		200	$\Omega$
<b>POWER SUPPLY</b>					
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = 2.7\text{ V}$ to 12 V –40°C $\leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	80 75	110 110	dB dB
Supply Current/Amplifier	$I_{SV}$	$V_O = 0\text{ V}$ –40°C $\leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		220 350	400 500 $\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
<b>DYNAMIC PERFORMANCE</b>					
Slew Rate	+SR	$R_L = 10\text{ k}\Omega$		0.4	V/ $\mu\text{s}$
Slew Rate	–SR	$R_L = 10\text{ k}\Omega$		0.4	V/ $\mu\text{s}$
Full-Power Bandwidth	$BW_p$	1% distortion		1.2	kHz
Settling Time	$t_s$	To 0.01%		22	$\mu\text{s}$
Gain Bandwidth Product	GBP			3	MHz
Phase Margin	$\theta_o$			45	Degrees
Channel Separation	CS	$f = 1\text{ kHz}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$		145	dB
<b>NOISE PERFORMANCE</b>					
Voltage Noise	$e_n$ p-p	0.1 Hz to 10 Hz		2	$\mu\text{V p-p}$
Voltage Noise Density	$e_n$	$f = 1\text{ kHz}$		42	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Current Noise Density	$i_n$			0.8	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 4.

Parameter	Rating
Supply Voltage	16 V
Input Voltage	GND to ( $V_S + 10\text{ V}$ )
Differential Input Voltage	7 V
Output Short-Circuit Duration to GND	Indefinite
Storage Temperature Range	
N, R, RU Packages	–65°C to +150°C
Operating Temperature Range	
OP191G/OP291G/OP491G	–40°C to +125°C
Junction Temperature Range	
N, R, RU Packages	–65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	300°C

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Absolute maximum ratings apply to both DICE and packaged parts, unless otherwise noted.

## THERMAL RESISTANCE

$\theta_{JA}$  is specified for the worst-case conditions; that is,  $\theta_{JA}$  is specified for device in socket for PDIP packages;  $\theta_{JA}$  is specified for device soldered in circuit board for TSSOP and SOIC packages.

Table 5. Thermal Resistance

Package Type	$\theta_{JA}$	$\theta_{JC}$	Unit
8-Lead SOIC (R)	158	43	°C/W
14-Lead PDIP (N)	76	33	°C/W
14-Lead SOIC (R)	120	36	°C/W
14-Lead TSSOP (RU)	180	35	°C/W

## ESD CAUTION

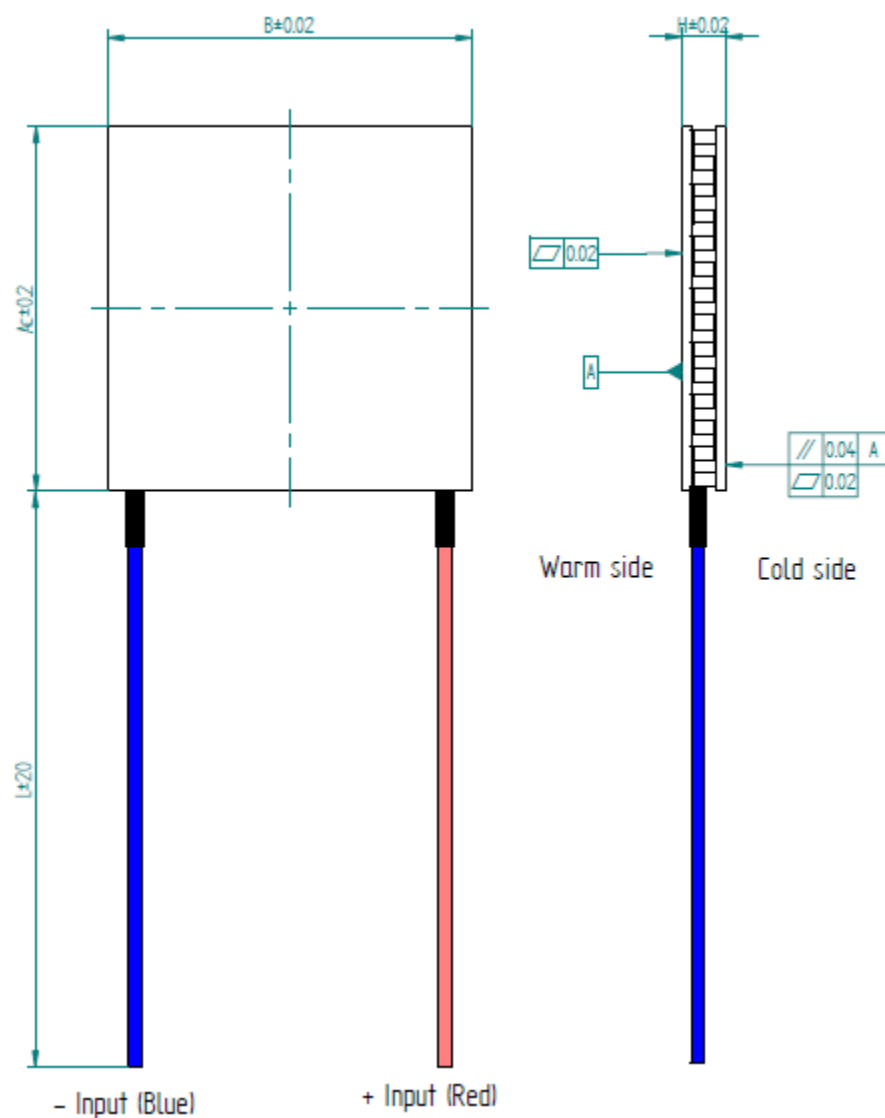


**ESD (electrostatic discharge) sensitive device.**  
Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

**ANEXO G: Especificaciones Técnicas de la célula Peltier PF071-14-15**

Part nr.	I max [A]	U max [VDC]	Pc max [W]	$\Delta T$ max [°C] (At hot side temperature Th=25°C / 298K)	R <sub>AC</sub> (ohm)	A [mm]	B [mm]	H [mm]	L [mm]	Wire AWG
PF-071-14-15-UK	6	8,8	32,8	73	1,32	30	30	3,9	200	22
PF-127-10-13-UK	3,9	15,7	37,4	73	3,47	30	30	3,6	200	24
PF-127-14-15-UK	6	15,7	58,6	73	2,19	40	40	3,9	300	22

Pc max = Cooling power at  $\Delta T = 0$  and  $I = I$  max.  
 $\Delta T$  max = Temperature difference at  $I = I$  max and  $P_c = 0$ .  
 Increased hot side temperature gives increased U max, Pc max and  $\Delta T$  max.  
 At Th = 50°C  $\Delta T$  max increases by 10°C and Pc max by 10%.  
 Max hot side temperature Th = 150°C for best long term performance.  
 Max mounting pressure: 1.5MPa.  
 Wires: Teflon (PTFE) insulated wires UL1180 (Unstripped)



**ANEXO H: Datasheet del adhesivo epóxido****TYPICAL PROPERTIES**

Colour	Part A:	Blue
	Part B:	Cream
Viscosity:		Paste
Operating Temperature Range:		-40°C to + 120°C
Tensile Strength:		2200N/cm <sup>2</sup>
Deflection Temperature:		100°C
Electric Strength:		11 to 12 kV/mm
Volume Resistivity:		10 <sup>14</sup> to 10 <sup>15</sup> Ohms/cm
Thermal Conductivity:		1.1 W/mK
Modulus of Elasticity:		2 to 3 GN/m <sup>2</sup>
		0.29 - 0.435 x 10 <sup>6</sup> lbf/in <sup>2</sup>
Mix Ratio by Volume:		3 parts A
		1 part B
Mix Ratio by Weight:		6.66 parts A
		2.32 parts B
Usable Life:		3 to 4 hours
Cure Time:		45 mins @ 100°C
		75 mins @ 60°C
		8 to 12 hrs @ room temperature - hard
		48 hours @ room temperature - full cure
Specific Heat Capacity:		0.5 cal/g/°C @ 30°C - resin
		0.35 cal/g/°C @ 30°C - hardener

